104-011-7793
MOTC-IOT-103-H1DB007a

橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研究(4/4)

交 通 部 運 輸 研 究 所

中 華 民 國 104 年 3 月

104-011-7793
MOTC-IOT-103-H1DB007a

橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研究(4/4)

著 者：邱永芳、林雅雯、胡啟文、鄭明淵
邱建國、吳育偉、徐梓隆

交 通 部 運 輸 研 究 所
中 華 民 國 104 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發. (4/4) /
邱永芳等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所,
民 104.03
面 ; 公分
ISBN 978-986-04-4275-5(平裝)

1.橋樑工程

441.8 104001676

橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研究(4/4)

著　　者：邱永芳、林雅雯、胡啟文、鄭明淵、邱建國、吳育偉、徐梓隆
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 104 年 3 月
印 刷 者：九易數碼科技印刷有限公司
版(刷)次冊數：初版一刷 70 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站
定　　價：200 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：1010400170　　ISBN：978-986-04-4275-5 (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。

104

橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研究(4/4)

交通部運輸研究所

GPN: 1010400170
定價 200 元

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(4/4)

國際標準書號	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號
ISBN978-986-04-4275-5 (平裝)	1010400170	104-011-7793	103-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：胡啟文 聯絡電話：04-26587191 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：鄭明淵 協同主持人:邱建國、吳育偉 研究人員：徐梓隆 地址：106 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 103 年 02 月 至 103 年 11 月

關鍵詞：橋梁維護，生命週期，橋梁重要性，用路人成本

摘要：

台灣受季風氣候影響及位處地震帶，因此颱風與地震頻傳，橋梁飽受各種天然災害侵害，如地震、颱風及材料劣化等，橋梁往往須於其壽齡內花上大筆費用進行維護補強工作，此外在人為使用方面，亦有車輛超載問題。如何從現有橋梁之健康度評估在不同時間點進行維護之延壽與經濟效益，考量公路橋梁管理單位維護經費限制下，如何將有限資源做最有效運用將是迫切的課題。因此，本計畫考量公路橋梁管理單位在年度維護預算有限情形下，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，工務段難以針對轄區內橋梁進行預算分配及維護成本估計，所以依不同橋梁現況有效投入成本進行維護與補強工作更顯重要。故本計畫將各橋梁損壞社會風險成本及公路管理單位年度維護預算限制等因子納入考量，同樣應用生物共生演算法(Symbiotic Organism Search, SOS)求得群橋生命週期內，與有限經費下之最適維護策略，達到最佳經濟效益，節省橋梁管理單位維護補強經費。

成果效益與應用情形：

在施政上，本研究成果可提供交通部、橋梁管理單位在研擬橋梁維護與補強策略之參考。在實務上，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。

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
104 年 3 月	244	200	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。

機密等級：

□密 □機密 □極機密 □絕對機密

（解密條件：□ 年 月 日解密，□公布後解密，□附件抽存後解密，

□工作完成或會議終了時解密，□另行檢討後辦理解密）

■普通

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 (4/4)

ISBN	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
978-986-04-4275-5 (pbk)	1010400170	104-011-7793	103-H1DB007a

DIVISION: Harbor & Marine Technology Center
DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lin Ya-wen
PROJECT STAFF: Hu Chi-wen
PHONE: (04) 26587191
FAX: (04) 26564418

PROJECT PERIOD
From February 2014
TO November 2014

RESEARCH AGENCY: National Taiwan University of Science and Technology, Ecological and Hazard Mitigation Engineering Research Center
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Cheng Min-yuan
PROJECT STAFF: Chiu Chien-kuo, Wu Yu-wei
ADDRESS: #43 , Sec.4 , Keelung Rd. , Taipei 106, Taiwan, R.O.C
PHONE: (02)2737-6663

KEY WORDS: Maintenance strategic, Life cycle cost, Importance Factors of Bridge, Road User cost

ABSTRACT:

This paper considers main risk factors as the material deterioration, scours and earthquakes. In order to ensure the safety and extend the life-span for bridges and the government limit budget, this study proposes a novel model, the Group Bridge Life Cycle Maintenance Strategy Optimization Model. In this model five steps must be conducted. First, imply Monte Carlo Simulation to estimate the bridge maintenance probability from the historical data. Second, use the artificial intelligence (AI) ESIM model to estimate risk impact influence cost. Third, estimate the user cost of the bridges without maintenance. Forth, sum up each risk factor's multiplication of bridge maintenance probability and risk influence cost to obtain the risk cost as E (Cost). Last, the model utilizes (SOS, Symbiotic Organism Search) algorithm to obtain the minimum LCC cost EGT (Cost), and every year the budget limit will be confined. As a result, this study can provide the optimal maintenance timing and cost as maintenance strategy for bridge management division.

BENEFITS AND APPLICATIONS:

The Ministry of Transportation and Communications or the bridge management department can refer to the results for policy-making. The bridge management department to arrange the optimal funds, in addition estimates the future condition of the bridge with a limited budget.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
March 2015	244	200	☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ■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(4/4)

目錄

計畫摘要 I

目錄 III

第一章 緒論 1-1

1.1 研究動機 1-1

1.2 研究目的 1-3

1.3 研究範圍與限制 1-5

1.4 研究方法及流程 1-5

1.4.1 研究內容 1-5

1.4.2 研究流程 1-8

1.5 研究架構 1-12

第二章 文獻回顧 2-1

2.1 國內橋梁維護管理現況探討 2-1

2.1.1 橋梁養護權責法源依據 2-1

2.1.2 公路維護規範 2-3

2.1.3 橋梁狀況指標 2-5

2.1.4 橋梁維護管理現況 2-7

2.1.5 橋梁維護管理機制 2-9

2.1.5.1 養護組織及業務職掌 2-9

2.1.5.2 公路總局維護經費編列制度 2-11

2.2 國內目前橋梁檢測相關文獻蒐集 2-13

2.3 橋梁維護的優先順序 2-14
2.4 橋梁維護之重要性非直接成本因子 2-15
2.5 橋梁斷橋與維護造成之用路人成本 2-20
2.5.1 用路人成本意義 2-20
2.5.2 用路人成本量化 2-22
2.6 演化式支持向量機推論模式 2-25
2.6.1 演化式支持向量機推論模式 2-26
2.6.2 ESIM應用 2-27
2.7 生物共生演算法 2-29
第三章 群橋生命週期維護策略最佳化模式之建立 3-1
3.1 模式架構 3-1
3.2 橋梁風險評估模式 3-4
3.2.1 風險辨識 3-4
3.2.2 風險評估模式 3-4
3.2.3 橋梁綜合能力指標 3-5
3.3 橋梁維護機率 3-8
3.3.1 橋梁維護機率-元件老化 3-8
3.3.2 橋梁維護機率-洪水 3-9
3.3.3 橋梁維機率-地震 3-10
3.4 橋梁風險影響程度 3-11
3.4.1 橋梁元件老化維護成本(C_{MD}) 3-12
3.4.2 橋梁洪水沖刷維護與重建成本(C_{MS}、C_{RS}) 3-13
3.4.3 橋梁地震維護與重建成本(C_{ME}、C_{RE}) 3-13

3.4.4 計算E(MC)、E(RC) 3-14
3.4.5 用路人成本評估E(UC) 3-14
3.5 群橋維護成本最佳化 3-14
3.5.1 建立目標函數與限制式 3-15
3.5.2 生物共生演算法最佳化搜尋 3-15
3.5.3 群橋生命週期維護成本最佳化 3-15
第四章 橋梁維護機率 4-1
4.1 橋梁元件老化維護機率 4-2
4.1.1 橋梁分類(依橋型、交通量、與海岸距離) 4-2
4.1.2 統計分析(CI與橋齡) 4-3
4.1.3 維護門檻訂定-元件老化 4-4
4.1.4 蒙地卡羅模擬-元件老化 4-4
4.1.5 計算元件老化維護機率(P_{MD}) 4-5
4.2 橋梁洪水維護與重建機率 4-5
4.2.1 橋梁分類(依所在流域) 4-6
4.2.2 統計分析(SSI) 4-6
4.2.3 洪水事件產生器與維護門檻訂定 4-7
4.2.4 蒙地卡羅模擬-洪水 4-8
4.2.5 計算洪水維護機率(P_{MS}) 4-9
4.2.6 計算洪水重建機率(P_S) 4-10
4.3 橋梁地震維護與重建機率 4-10
4.3.1 潛勢地震發生機率模型 4-11
4.3.1.1 震源型態之介紹 4-12

4.3.1.2 建立地震目錄及研究對象 4-12
4.3.1.3 平均規模與未來地震發生次數之公式 4-13
4.3.1.4 柏松與對數常態分佈之風險函數 4-15
4.3.1.5 臺灣未來20年之地震發生機率 4-15
4.3.2 橋梁地震損傷評估 4-16
4.3.2.1 性能曲線與容量震譜 4-17
4.3.2.2 非線性動力分析模式 4-18
4.3.2.3 RC橋梁模型 4-19
4.3.2.4 諧和加速度地震歷時 4-20
4.3.3 蒙地卡羅模擬-地震 4-22
4.3.4 計算地震維護機率(P_{ME}) 4-22
4.3.5 計算地震重建風險機率(P_E) 4-25
4.4 橋梁維護機率小結 4-25
第五章 橋梁風險影響程度 5-1
5.1 橋梁元件老化維護風險成本 5-2
5.1.1 橋梁維護因子評估 5-2
5.1.2 橋梁維護因子篩選 5-4
5.1.3 建立橋梁維護案例資料庫 5-4
5.1.4 建置人工智慧元件老化維護成本推估模式 5-6
5.1.4.1 模式參數設定 5-6
5.1.4.2 ESIM 可行性分析 5-6
5.1.4.3 ESIM 架構 5-7
5.1.5 ESIM模式訓練與測試 5-7

5.1.6 計算元件老化維護風險成本(P_{MD}*C_{MD}) 5-11
5.2 洪水造成風險影響程度 5-11
5.2.1 橋梁維護因子評估 5-11
5.2.2 橋梁維修因子篩選 5-12
5.2.3 建立橋梁維修案例資料庫 5-13
5.2.4 建立人工智慧洪水沖刷維護成本推估模式 5-14
5.2.5 ESIM模式訓練與測試 5-14
5.2.6 計算洪水維護、重建風險成本(P_{MS}*C_{MS}、P_S*C_{RS}) 5-15
5.3 地震維護與重建風險成本 5-17
5.3.1 計算地震損傷比 5-17
5.3.2 地震維護風險成本(P_{ME} *C_{ME}) 5-18
5.3.3 地震重建風險成本(P_E *C_{RE}) 5-21
5.4 計算E(MC)、E(RC) 5-21
5.5 用路人成本評估E(UC) 5-24
5.5.1 重要性非直接成本因子篩選 5-24
5.5.2 用路人直接成本評估模式 5-26
5.5.3 旅行延時成本(Daily Traveler's Time Value) 5-28
5.5.3.1 旅行延時成本(部分封閉) 5-28
5.5.3.2 旅行延時成本(完全封閉) 5-31
5.5.4 車輛運行成本(Daily Vehicle Detouring Cost) 5-32
5.5.4.1 車輛運行成本(部分封閉) 5-32
5.5.4.2 車輛運行成本(完全封閉) 5-33
5.5.5 事故發生成本(Accident Occurrence Cost) 5-34

5.5.6 用路人直接成本小結 5-37
第六章 群橋維護成本最佳化.....6-1
6.1 建立目標函數與限制式 6-1
6.1.1 群橋最佳化模式之目標方程式 6-1
6.1.2 群橋最佳化模式之限制式 6-2
6.2 生物共生演算法最佳化搜尋 6-3
6.2.1 生物共生演算法 6-3
6.2.2 SOS演算法在群橋維護策略應用流程 6-3
6.3 群橋生命週期維護成本最佳化 6-8
6.3.1 群橋維護成本最佳化策略訂定 6-9
6.3.2 群橋維護成本最佳化模式應用 6-13
6.3.3 群橋維護成本最佳化模式參數更新 6-16
6.3.4 群橋維護成本最佳化模式使用建議 6-18
第七章 結論與建議.....7-1
7.1 結論 7-1
7.2 建議 7-2
7.3 成果效益與應用情形 7-3
參考文獻.....參-1
附錄一 橋梁風險評估範例.....附錄1-1
附錄二 網頁操作說明.....附錄2-1
附錄三 期中報告審查意見處理情形表.....附錄3-1
附錄四 期末報告審查意見處理情形表.....附錄4-1
附錄五 期末報告簡報檔.....附錄5-1

圖目錄

圖1.1 研究內容架構圖.....1-6
圖1.2 橋梁維護策略.....1-8
圖1.3 研究執行流程圖.....1-9
圖2.1 公路總局組織圖.....2-10
圖2.2 橋梁重要性評定架構圖.....2-20
圖2.3 支持向量機最佳化模式架構.....2-26
圖2.4 ESIM應用程序.....2-27
圖2.5 生態系統中的生物共生關係示意圖.....2-30
圖3.1 橋梁風險評估及維護策略模式建置流程.....3-3
圖3.2 橋梁風險因子影響圖.....3-4
圖3.3 橋梁風險評估模式.....3-5
圖3.4 群橋生命週期維護策略.....3-16
圖4.1 橋梁維護機率評估流程圖.....4-1
圖4.2 以梁式橋-復興三橋為例之CI下降趨勢.....4-3
圖4.3 以距海300公尺內車流量6,000輛內(梁式橋)為例.....4-4
圖4.4 可視危害造成維護機率蒙地卡羅計算流程圖.....4-4
圖4.5 臺灣主要河川分布圖(水利署).....4-6
圖4.6 發生50年洪水時對應SSI指標下降.....4-8
圖4.7 發生100年洪水時對應SSI指標下降.....4-8
圖4.8 洪水造成維護機率蒙地卡羅計算流程圖.....4-9
圖4.9 潛勢地震發生機率模型之流程圖.....4-11

圖4.10 橋梁地震損傷評估流程圖.....4-16
圖4.11 武田模型(Takeda model)之力量與位移關係.....4-19
圖4.12 橋梁通阻之SAP2000牛門橋模型.....4-19
圖4.13 牛門橋之XTRACT斷面分析.....4-19
圖4.14 SAP2000三星橋模型.....4-20
圖4.15 三星橋之XTRACT斷面分析.....4-20
圖4.16 原始地震歷時與修正後之加速度歷時資料.....4-21
圖4.17 地震造成維護機率蒙地卡羅計算流程圖.....4-22
圖4.18 震後結構性能修正示意圖.....4-24
圖4.19 未來損傷分級機率關係曲線.....4-24
圖5.1 橋梁風險影響程度流程圖.....5-1
圖5.2 人工智慧橋梁耐震能力推論模式.....5-6
圖5.3 10組交叉驗證法.....5-9
圖5.4 橋梁維護成本預測值與實際值比較-非跨河橋梁(元件老化)..5-11
圖5.5 橋梁風險影響程度預測值與實際值比較-跨河橋梁(洪水).....5-15
圖5.6 三星橋未來20年內之損傷超越機率.....5-19
圖5.7 三星橋未來20年內之地震風損成本(單位為重建成本).....5-19
圖5.8 牛門橋未來20年內之損傷超越機率.....5-20
圖5.9 牛門橋未來20年內之地震風損成本(單位為重建成本).....5-20
圖6.1 群橋維護成本最佳化流程圖.....6-1
圖6.2 群橋最佳化應用SOS演算法程序.....6-4
圖6.3 SOS演算法程序.....6-5
圖6.4 群橋維護策略最佳化模式流程.....6-8

圖6.5 橋梁維護策略示意圖.....6-9
圖6.6 橋梁維護組合方案.....6-10
圖6.7 最佳化搜尋目標函數結果.....6-11
圖6.8 橋梁資訊管理模組.....6-13
圖6.9 群橋維護策略查詢選單.....6-13
圖6.10 群橋維策略查詢選單.....6-14
圖6.11 群橋維護策略查詢選單.....6-14
圖6.12 第二區工程處20年維護週期評估結果.....6-15
圖6.13 第二區工程處25年維護週期評估結果.....6-15
圖6.14 第二區工程處30年維護週期評估結果.....6-16
圖6.15 30年維護維修策略詳細資料.....6-16
圖6.16 維護策略參數設定與分析.....6-17
圖6.17 修改工程處預算值.....6-17
圖6.18 重新分析.....6-18

表目錄

表2-1 橋梁構造物檢測評定標準 2-5
表2-2 臺灣橋梁主管機關及管理體系 2-7
表2-3 橋梁管理機關所轄橋梁數目表 2-7
表2-4 橋梁養護權責劃分與預算編列之關係 2-9
表2-5 86~91年度公路總局維護管理總預算表.....2-12
表2-6 89~102年度二區工程處橋梁維護管理預算表 2-13
表2-7 國內目前橋梁檢測相關文獻蒐集 2-14
表2-8 國內目前橋梁維護優先順序文獻蒐集 2-15
表2-9 BH2橋梁重要性評估指標項目 2-16
表2-10 重要性非直接成本因子文獻來源與說明 2-17
表2-11 重要性類別與非直接成本因子表 2-18
表2-12 重要性類別與非直接成本因子說明 2-19
表2-13 社會成本與用路人成本概算表 2-23
表2-14 事故成本生命價值 2-24
表4-1 橋梁分組分布表.....4-2
表4-2 梁式橋調查資料筆數 4-2
表4-3 相關參數表(以梁式橋為例).....4-3
表4-4 元件老化維護機率結果(節錄)，單位:%.....4-5
表4-5 臺灣主要河系洪水重現期對應SSI指標下降表 4-7
表4-6 洪水維護機率結果(節錄)，單位:%.....4-9
表4-7 洪水重建機率結果(節錄)，單位:%.....4-10

表4-8 RC結構物之損傷指標 4-23
表4-9 橋梁編號B04-0030-217A至B04-0030-220A各年度橋梁維護機率 4-26
表4-10 橋梁編號B04-0030-217A至B04-0030-220A各年度橋梁重建機率 4-27
表5-1 橋梁屬性資料欄位 5-3
表5-2 影響元件老化維護經費因子 5-4
表5-3 非跨河橋維護案例(節錄).....5-5
表5-4 ESIM模式參數設定 5-8
表5-5 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) 5-10
表5-6 洪水維護經費因子 5-13
表5-7 跨河橋維護案例(節錄).....5-13
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)..5-16
表5-9 損害狀況及損害比之關係 5-18
表5-10 橋梁編號B04-0030-217A至B04-0030-220A各年度橋梁維護風險成本 5-22
表5-11 橋梁編號B04-0030-217A至B04-0030-220A各年度橋梁重建風險成本 5-23
表5-12 重要性非直接成本因子篩選結果表 5-25
表5-13 篩選後之重要性類別與非直接成本因子 5-26
表5-14 篩選後之重要性與非直接成本因子代號表 5-26
表5-15 用路人直接成本概算表(元/天).....5-27
表5-16 道路等級與平均車流速率 5-29

表5-17 各車種的平均載客數 5-29
表5-18 各區各車種之平均乘載數 5-30
表5-19 旅行延時成本(部分封閉).....5-30
表5-20 旅行延時成本(完全封閉).....5-31
表5-21 車輛運行成本(部分封閉).....5-33
表5-22 車輛運行成本(完全封閉).....5-34
表5-23 97年~102年肇事率、死亡率與受傷率統計 5-35
表5-24 交通事故受傷程度統計 5-36
表5-25 事故發生成本(完全封閉).....5-37
表5-26 用路人直接成本概算結果(以二區工程處為例).....5-38
表5-27 橋梁ID編號B04-0030-217A至B04-0030-220A各年度橋梁用路人成本 5-39
表6-1 橋梁相關參數彙整(節錄).....6-4
表6-2 橋梁編號B04-0030-217A至B04-0030-220A生命週期CI值.....6-10
表6-3 二區工程處橋梁B01-0010-010A至B08-0760-026B生命週期20年維護策略.....6-12

第一章 緒論

1.1 研究動機

臺灣多屬多山多谷，爰建造公路系統時，常需興建橋梁來跨越自然之阻礙。橋梁除具有跨越河川及山谷、聯絡外地之功能，亦擔負起維繫經濟動脈之重要使命。且臺灣地處環太平洋地震帶與受太平洋季風區影響，颱風與地震頻繁，因而加速橋梁元件老化；再者，隨著臺灣地區橋梁建設趨於飽和，橋梁重點由新建轉成維護，橋梁如未適時做適當的維護補強修復，提升橋梁安全與壽命，一旦橋梁遭受到天然災害，將導致橋梁損壞，危及用路人之旅行與安全。因此，橋管單位如何在年度預算限制下，規劃群橋生命週期維護策略，以提升橋梁壽齡，為一重要且刻不容緩的問題。

臺灣橋梁承受各種天然災害侵害，包括橋梁元件老化、颱風及地震等。在元件老化方面，由於臺灣屬海島型氣候，環境中充滿鋼筋腐蝕老化的因子，橋梁往往須在其壽齡中，耗費大筆經費進行維護與補強工作。在洪水方面，因每年颱風、豪大雨及近年來氣候變遷、河床下降嚴重等因素，造成河水暴漲，橋台及橋墩基礎處之河床發生劇烈沖刷，對原本已裸露之橋基，災情更形惡化，致使橋梁易受沖刷而導致損壞。而地震方面，頻繁的地震事件會造成許多橋梁不同程度的損壞，而早期老舊橋梁的耐震能力更有不足之疑慮，亟待補強。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護補強，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重視，橋管單位如何在適當時間，選擇適當的方法，進行維護補強修復，以提升橋梁安全與壽命，為目前國內橋梁維護迫切亟需解決的重要課題(鄭明淵等，2012)[1]。

要維護甚至延長橋梁壽命，維持橋梁安全可靠的運輸狀況，除了

規劃設計與施工品質妥善以外，維護工作也非常重要，而完善的維護作業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。目前國內橋梁管理單位擬定橋梁維護策略之實務作法，係以目視檢測結果(D.E.R.&U.)作為判定橋梁是否應進行維護之決策依據，此一作法並未將洪水沖刷、地震等不可視潛勢危害所造成之橋梁內在損傷因素納入考慮，且未以生命週期角度完整評估橋梁風險。再者，橋梁每年之維護預算有限，每一橋梁管理單位管理之橋梁數量介於300至600座，因此在考量可視風險與潛勢危害，及橋梁重要性與用路人成本損失之條件下，如何排定橋梁維護優先順序及成本，從生命週期角度求得群橋維護的最適時機與最小維護總成本，為橋管單位亟待探討的議題。

有鑒於此，針對橋梁生命週期維護策略之探討，本計畫首度提出可視 (Visible) 與不可視(潛勢)(Invisible)危害二風險類別，並將橋梁在維護或是斷橋風險下造成經濟損失之用路人成本納入考量，建立橋梁維護風險成本分析模式。可視危害部分主要考量元件老化風險因子，而不可視危害則包括洪水沖刷與地震二因子,然後應用風險期望值 (風險成本)的觀念，分別計算各因子在橋梁生命週期內可能造成之損壞機率與維護成本，再以兩者相乘積和，進一步建立群橋風險指標E(Cost)與評估模式。

本模式依據所搜集地震及200年洪峰等歷史資料，應用蒙地卡羅模擬，求得橋梁損壞機率。因橋梁不同破壞程度所需維護成本不同，目前國內橋梁維護成本歷史資料，以TBMS(Taiwan Bridge Management System)最為完整，然而該資料庫中之資料係在某一破壞程度CI(Condition Index，橋梁整體狀況指標)所花費的維護費用，無法從歷史資料推論求得其他破壞程度所需維護成本。因此本計畫擬應用人工智慧AI(Artifitial Intelligence)推論模式，找出歷史案例中輸入值(D.E.R.&U.)與輸出值維護成本之映射關係。後續評估橋梁可能維護成本時，可根據(D.E.R.&U.)中的CI與SSI(Scouring Stability Index)指標下降趨勢，推論不同破壞程度下，所需之維護成本。

由於每一橋梁在不同時間點執行維護會有不同之效益，亦即維護方案執行後，使設施保持堪用狀態或延續壽命的程度可能會有所差異，其損壞機率與維護成本不同，因此工程處針對轄區內橋梁擬定維護策略時，除考量因老化、洪水與地震造成之風險影響成本外，亦須將各橋梁用路人直接成本及橋管單位年度維護預算限制等因子納入考量，以排定維護優先順序與決定維護時機，有效分配橋梁維護預算。但其組合眾多，因此本計畫使用生物共生演算法 (Symbiotic Organism Search, SOS) 作為最佳化模式之理論，並以生命週期成本導向之概念建置「群橋生命週期維護策略最佳化之模式」，同時考量各橋梁所評估之現況及風險影響程度，進而輔助橋梁管理單位針對群橋進行維護時機及經費估計，依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作。分析結果可提供橋管單位在維護階段，從生命週期成本(Life Cycle Cost，LCC)的角度規劃群橋最佳維護時機與成本，在有限維護經費條件下達到最佳經濟效益。

1.2 研究目的

本計畫擬從橋梁生命週期成本角度，建置群橋生命週期維護策略最佳化模式。本模式除考量元件老化、洪水、地震等推估之橋梁維護風險成本外，亦將各橋梁重要性、橋梁維護與中斷造成車輛改道之用路人直接成本、公路管理單位年度維護預算限制及橋梁維護時間點等因子納入考量，以最佳化搜尋模式，找出群橋最適維護時機與生命週期總成本，以提供橋梁管理單位在擬定橋梁維護優先順序與編列分配預算時之參考。

依據上述之動機，本計畫主要之目的計有下列各項：

1.收集彙整國內外橋梁維護管理制度與相關文獻

所蒐集的文獻包括國內外橋梁維護管理制度等，元件老化、洪水、耐震性能等指標等相關文獻，以及考量維護優先順序之各橋梁

重要性影響因子，和橋梁中斷所產生之社會成本與用路人成本等相關文獻。

2.建置橋梁風險評估模式

本階段擬針對本土橋梁進行風險辨識，篩選影響橋梁安全維護之風險因子，主要包括元件老化、洪水、地震等，進而發展一橋梁風險評估模式。

3.蒙地卡羅模擬橋梁維護機率

根據前一階段所確立之風險因子,本階段評估不同風險因子之維護與損壞發生機率。依據橋梁地震、洪水歷史資料庫，透過蒙地卡羅模擬，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，進而評估橋梁可能損壞之風險機率。

4.人工智慧推論橋梁維護成本

應用人工智慧推論模式，以CI及SSI等因子為輸入，維護成本為輸出，建立橋梁老化、耐洪維護成本推估模式，以預測未來橋梁分別因老化與洪水維護所需花費的成本。地震部分擬參考阪神地震文獻所建議，使用不同損傷超越機率所對應之風險成本計算求得。

5.確立用路人成本概算模式

本階段確認非直接成本因子，並蒐集相關用路人成本之統計資料，考量橋梁重要性之非直接成本因子如車流量、橋梁長度、改道長度等因子，概算出車輛繞行替代道路所額外增加之成本。

6.建立橋梁綜合能力指標

本階段針對元件老化、洪水及地震災害，分別將第三階段求得之各風險機率，乘上第四、五階段推估之風險成本，與予加總，即求得橋梁綜合能力指標。

7.群橋生命週期維護策略最佳化模式

本階段將建立群橋生命週期維護策略最佳化模式,本模式考量公路橋梁管理單位橋梁現況且維護預算有限情形下,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,因此在維護預算有限的條件下，將上階段之橋梁綜合能力指標，設定為目標函數，再應用SOS演算法，找出群橋維護時機與生命週期最小總成本之最適方案。

1.3 研究範圍與限制

本計畫選定的研究對象為公路總局所管理的混凝土橋梁，因公路總局所轄橋梁遍及臺灣各地，是最具有代表性的單位，且其在 TBMS 系統建置的資料最齊全。另外根據統計，臺灣橋梁以鋼筋混凝土結構為應用最廣的類型，其中，有 95%以上為混凝土橋梁，且 75%以上橋齡高於二十年以上,橋梁強度堪慮。目前公路總局管理之省縣道橋梁，五個工程處加總共有 2590 座。本計畫所規劃各工程處群橋維護週期以 20 年為期，而設定 20 年的考量，是因為依據過去歷史資料顯示，政府在 8~10 年間，會因應橋梁受損狀況，編列特別預算，進行全面橋梁檢視與補強，同樣地一旦橋梁經全面補強後，平時之橋梁維護亦需重新規劃。考量此需求，本計畫提供年限設定之彈性，橋梁管理單位可依實際需求，設定求得 20, 25, 30 年維護週期之維護策略。另外，本計畫設定元件老化、洪水及地震為三個獨立事件，不考量多重災害之影響。

1.4 研究方法及流程

1.4.1 研究內容

本計畫之內容分成以下七個部分，如圖 1.1 所示。

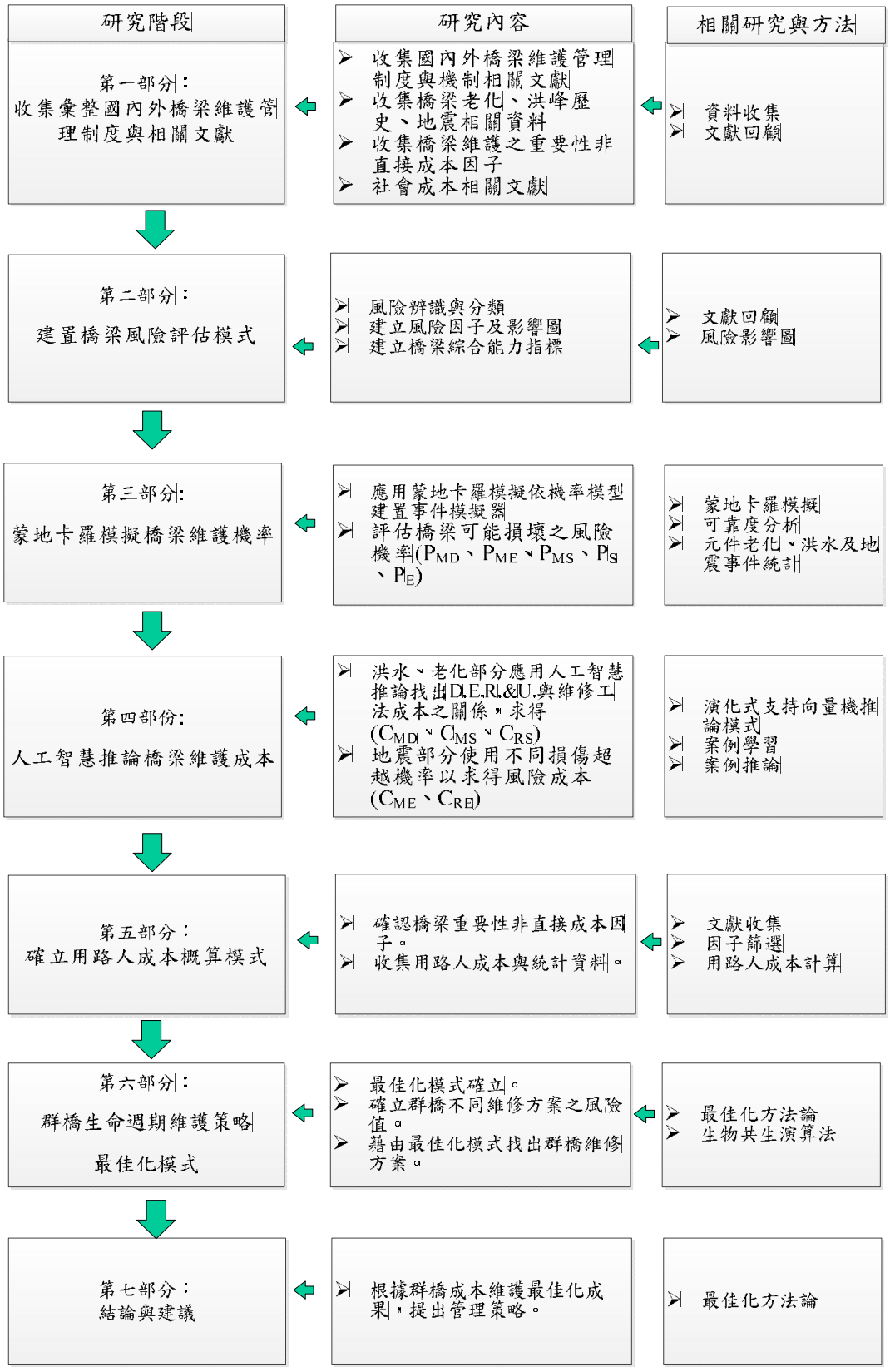

研究階段
研究內容
相關研究與方法
第一部分：
收集彙整國內外橋梁維護管理制度與相關文獻
收集國內外橋梁維護管理制度與機制相關文獻
收集橋梁老化、洪峰歷史、地震相關資料
收集橋梁維護之重要性非直接成本因子
社會成本相關文獻
資料收集
文獻回顧
第二部分：
建置橋梁風險評估模式
風險辨識與分類
建立風險因子及影響圖
建立橋梁綜合能力指標
文獻回顧
風險影響圖
第三部分:
蒙地卡羅模擬橋梁維護機率
應用蒙地卡羅模擬依機率模型建置事件模擬器
評估橋梁可能損壞之風險機率(P_{MD}、P_{ME}、P_{MS}、P_S、P_E)
蒙地卡羅模擬
可靠度分析
元件老化、洪水及地震事件統計
第四部份:
人工智慧推論橋梁維護成本
洪水、老化部分應用人工智慧推論找出D,E,R,&U,與維修工法成本之關係，求得(C_{MD}、C_{MS}、C_{RS})
地震部分使用不同損傷超越機率以求得風險成本(C_{ME}、C_{RE})
演化式支持向量機推論模式
案例學習
案例推論
第五部分：
確立用路人成本概算模式
確認橋梁重要性非直接成本因子。
收集用路人成本與統計資料。
文獻收集
因子篩選
用路人成本計算
第六部分：
群橋生命週期維護策略
最佳化模式
最佳化模式確立。
確立群橋不同維修方案之風險值。
藉由最佳化模式找出群橋維修方案。
最佳化方法論
生物共生演算法
第七部分：
結論與建議
根據群橋成本維護最佳化成果，提出管理策略。
最佳化方法論

圖 1.1 研究內容架構圖

本計畫內容共有七個部分，說明如下：

收集彙整國內外橋梁維護管理制度與相關文獻:所蒐集文獻包括國內外橋梁維護管理制度與機制等相關文獻，元件老化、洪水、耐震等性能指標。另外擬收集群橋維護時各橋梁維護之重要性影響因子，和橋梁斷橋或是中斷所產生之社會成本與用路人成本等相關文獻。另外回顧相關研究方法如人工智慧、生物共生演算法等相關文獻。

建置橋梁風險評估模式:本階段對橋梁進行風險辨識，篩選風險因子，其包括元件老化、洪水、地震等，進而發展一橋梁風險評估模式。建立綜合能力指標，將上述風險發生之機率值與各成本兩者相乘，即可得知橋梁綜合能力指標。

蒙地卡羅模擬橋梁維護機率:根據前一階段所確立之風險因子，本階段評估不同風險因子之維護與損壞發生機率。依據橋梁地震、洪水歷史資料庫，依機率模型建置事件模擬器並透過蒙地卡羅模擬，評估橋梁生命週期將遭遇之災害頻率及強度，進而評估橋梁可能損壞之風險機率。

人工智慧推論橋梁維護成本:將橋梁檢測歷史紀錄與維護補強案例庫連結，可建置不同檢測結果(CI 及 SSI)對應補強成本歷史案例庫，然後應用人工智慧推論模式，找出案例資料中輸入值(CI 及 SSI)與輸出值維護成本之映射關係，再依據迴歸橋梁檢測資料所得之橋梁損壞下降趨勢，求得不同年限下元件老化程度(CI)與洪水沖刷程度(SSI)值，作為前述 AI 輸入值，以推論求得可能維護成本。地震部分擬參考阪神地震文獻建議使用不同損傷超越機率所對應之風險成本計算求得。

確立用路人成本概算模式:本計畫擬分別蒐集影響橋梁維護重要性之相關文獻。接著，將藉由文獻回顧蒐集，初步確認橋梁重要性之非直接成本因子，並在後續根據收集到的重要性非直接成本因子，進行篩選並量化成用路人成本，確認非直接成本因子與用路人直接成本之關聯，再依各因子之關聯性建置一橋梁重要性非直接成本因子與用路人成本評估模式。

群橋成本維護最佳化，本計畫考量橋管單位在年度維護預算有限情形下，無法同時對所有橋梁進行全面檢測與修復之工作，所以橋梁維護的優先順序、經費預算的分配多寡及各橋維護所需成本的估計均是各工程處在年度維護經費預算分配時，所需面臨的問題。再者，從生命週期的角度，不同損傷與不同維護工法之維護方案與維護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，本計畫使用生物共生演算法 SOS 作為最佳化模式之理論，其方法以保持生物共生時的多樣性及加速收斂的效果。分析各橋之維護時機與成本，使得群橋維護總成本最低，如此橋梁管理單位即可依此規劃長程群橋之維護策略，以便將有限資源做最有效運用。

結論與建議，本階段將根據群橋成本維護最佳化成果，提出群橋生命週期維護管理策略。並回顧研究目的、確認本計畫之貢獻，綜合本計畫之過程與結果，提出研究之結論與建議事項，提供未來相關研究之參考使用。

1.4.2 研究流程

本計畫將導入生命週期成本導向之概念，建置群橋生命週期維護策略最佳化模式。由於各橋梁在不同時間點執行維護下，有不同之效益，如圖 1.2 所示。即維護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，根據橋梁之殘餘能力曲線可求得群橋各橋梁之殘餘能力，並在預算限制下，決定群橋之最佳維護時機與預算。

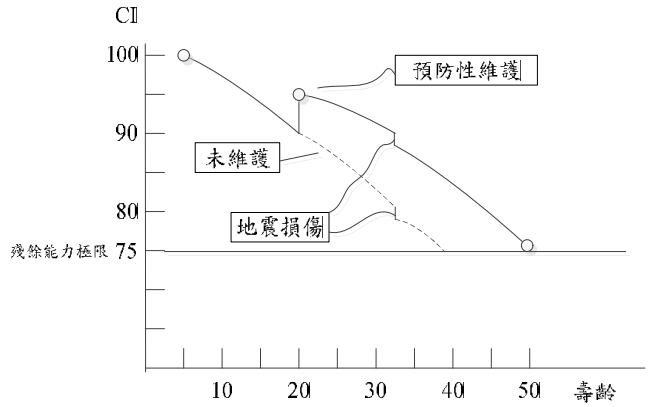


圖 1.2 橋梁維護策略

本計畫流程將分成八個研究步驟執行，如下圖 1.3 所示：

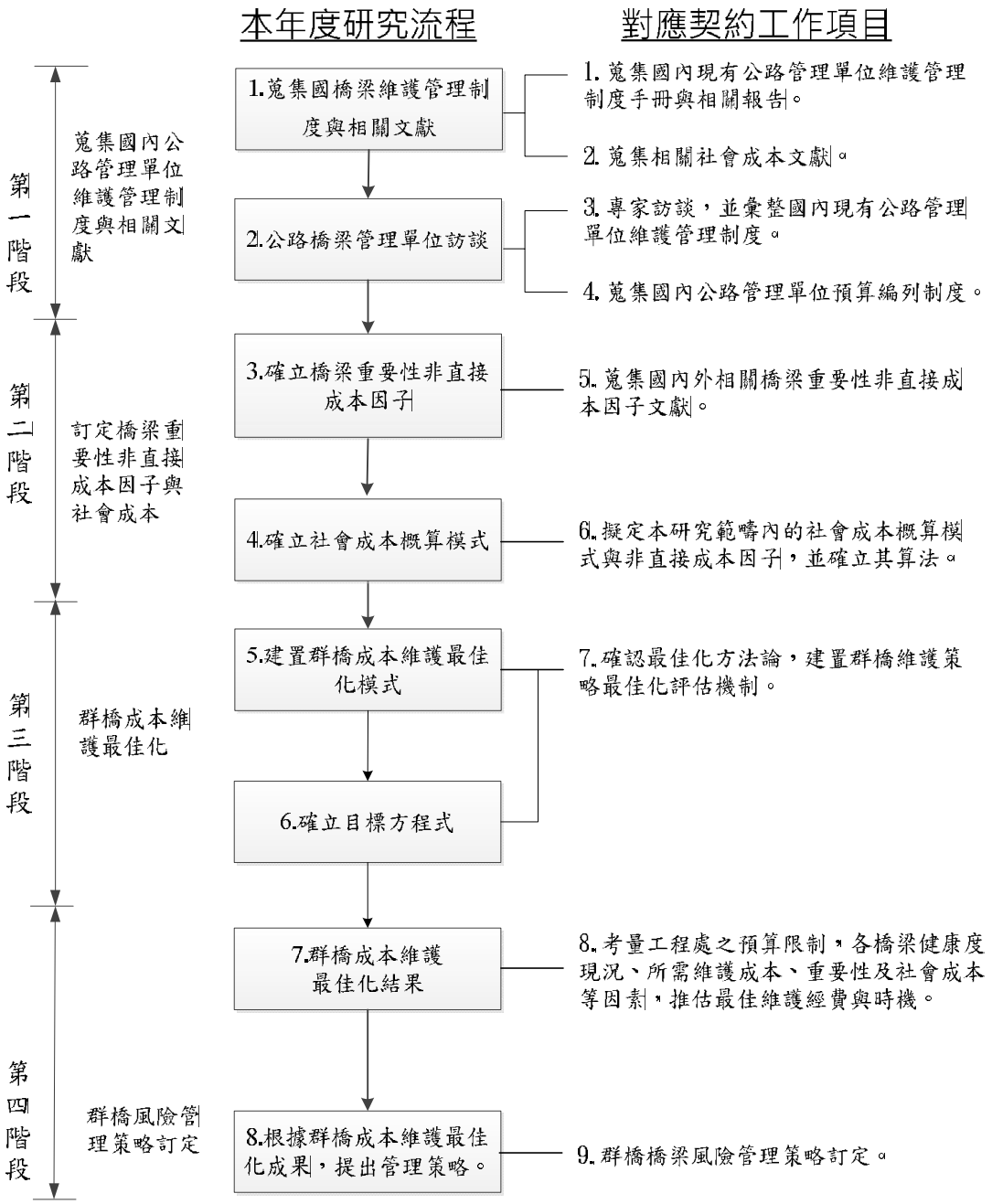


圖 1.3 研究執行流程圖

其規劃工作項目與內容，分述如下:

第一階段：蒐集國內公路管理單位維護管理制度與相關文獻

步驟1. 蒐集橋梁維護管理制度與相關文獻

此步驟將收集國內公路管理單位維護管理制度與相關文獻如橋梁斷橋之社會成本、橋梁維護之重要性非直接成本因子等。首先，從國內公路管理單位現有橋梁維護管理制度手冊與相關報告進行蒐集。另外，橋梁管理單位各年度維護經費有限，因此本計畫擬蒐集橋梁重要性非直接成本因子，針對決定維護之優先順序因此本階段亦收集整理橋梁重要性相關文獻。此外，本計畫將收集國內道路工程相關社會成本文獻，應用在群橋成本維護最佳化模式中，作為橋梁斷橋後影響社會經濟及造成非直接成本之評估依據。

步驟2. 公路橋梁管理單位訪談

整理步驟1所蒐集之維護管理制度與相關文獻，訪談公路橋梁管理單位，針對維護管理時預算編列的制度與實務進行討論，如橋梁重要性非直接成本因子、社會成本及預算限制等，後續即可以依照其建議，擬定群橋維護之策略。

第二階段：訂定橋梁重要性非直接成本因子與社會成本

步驟3. 確立橋梁重要性非直接成本因子

本計畫擬分別蒐集影響橋梁維護重要性之相關文獻。接著，將藉由文獻回顧蒐集、橋梁管理單位訪談等方法，初步確認橋梁重要性之非直接成本因子，並在後續根據收集到的重要性非直接成本因子，進行篩選並量化成社會成本，再依各因子之關聯性建置橋梁中斷後社會成本評估模式。

步驟4. 確立社會成本概算模式

本階段將根據步驟1中所收集之國內道路工程社會成本相關文獻，初步擬定社會成本的成本項目，再加入步驟3中橋梁重要性非直接成本因子，概算出因橋梁中斷後車輛改道或是橋梁維護所造成車輛減

速所額外增加之社會成本。

第三階段：群橋成本維護最佳化

因橋梁在不同時機維護，損壞機率與維護成本不同，其組合方案眾多。因此本計畫擬繼續使用生物共生演算法(SOS)，在橋梁管理單位有限維護預算下，搜尋群橋生命週期最佳維護時機與最小成本，以作為群橋擬定最佳維護策略之參考，分析結果可提供公路管理單位從生命週期成本(LCC)的角度，規劃各工務段之群橋最佳維護時機及成本。

步驟 5. 建置群橋成本維護最佳化模式

本計畫擬發展的生物共生搜尋演算法SOS，其靈感來自然生態系統中生物之間的互動模式，SOS總共使用三種策略:互利共生、片利共生和寄生模擬等自然互動的模式。由於SOS不使用微調的參數，相較於同類演算法其操作步驟更顯容易。另外，由於SOS提供了性能的穩定性，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搜尋問題。其在尋優與運算時間表現均優於目前被廣為應用之基因演算法 (Genetic Algorithms，GA) 與粒子群演算法 (Particle Swarm Optimization，PSO)。

步驟 6. 確立目標方程式

去年度於單橋維護策略最佳化過程中，僅以橋梁維護成本最小化為目標，不需要考量群體橋梁之重要性排序或預算限制等問題，所以E_S(Cost)僅考量E(MC)與E(RC)兩項因素。然而，在群橋維護策略最佳化問題中，不僅需考量維護成本E(MC)及重建成本E(RC)問題，亦須將不維護狀況下橋梁損壞時對使用者之社會經濟影響納入。因此，本階段除了考量老化、洪水、地震風險下之維護成本E(MC)，並加入橋梁在未維護狀態下須承受可能損害之社會成本(Social Cost)，以下簡稱E(SC)，亦即橋梁因地震或洪水造成中斷下可能社會成本。

第四階段:群橋風險管理策略訂定

步驟 7. 群橋成本維護最佳化結果

最後本計畫可以得到群橋成本維護最佳化之結果，根據橋梁維護年限與維護經費之設定，找出橋梁生命週期之群橋最佳維護策略，並滿足各年度之預算限制，同時求得群橋生命週期最小風險成本的維護策略。

步驟 8. 根據群橋成本維護最佳化成果，提出管理策略

根據第三階段所計算求得之群橋維護最佳化結果，可得到橋梁維護的優先順序、維護的時機點及各橋梁維護所需成本。以提供各工務段在年度維護經費預算分配時之參考，將有限資源做最有效運用。再者，從生命週期的角度，分析各橋梁之維護時機與成本，使得群橋生命週期風險總成本最低，如此橋梁管理單位即可依此規劃長期群橋之維護策略，以便將有限資源做最有效運用。

1.5 研究架構

本計畫共分為七個章節，章節內容依序如下：

1.緒論

主要包含背景分析、研究範圍與限制和研究方法及流程，後續將依照本章節所建立起之目標進行研究。

2.文獻回顧

針對國內外橋梁維護管理制度及國內相關法源依據規範等、橋梁檢測機制、橋梁元件老化、洪水與耐震指標、橋梁維護之優先順序、維護之重要性非直接成本因子、用路人成本、演化式支持向量機推演模式 (Evolutionary Support Vector Machine Inference Model，ESIM)、生物共生演算法(SOS)等相關文獻進行回顧與整理。

3.群橋生命週期維護策略最佳化模式之建立

本章將說明本計畫之研究方法與進行步驟。首先進行橋梁風險

評估與辨識，針對風險分類成三部份分別為元件老化、洪水及地震，並對各橋梁維護機率、風險影響程度、群橋維護策略之目標方程式、群橋成本維護最佳化四部分進行說明。

4.橋梁維護機率

延續風險評估與辨識之風險因子，本階段將風險類別分為可視老化(Visible)與潛勢危害(Invisible)，並針對各因子評估橋梁維護與重建發生之機率。透過蒙地卡羅模擬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，進而評估橋梁可能損壞之風險機率。

5.橋梁風險影響程度

本章將分為四部分介紹，第一、二部分將建立元件老化與洪水之維護工法案例資料，即可找尋對應之維護工法並估算破壞所需維護經費，視為風險對橋梁所造成之風險影響程度，再使用人工智慧學習方式，模擬橋梁維護造成的風險影響程度。第三部分將介紹地震損傷超越機率及地震風險成本概念。第四部分，因本模式對象為群橋，故加入重要性非直接成本因子與用路人成本推估模式，並概算出橋梁因維護延時與繞行替代道路所額外增加之用路人成本 E(UC)。

6.群橋成本維護最佳化

本章將說明本計畫之目標方程式與限制式，並介紹生物共生演算法(SOS)，包含基本假設條件、計算流程及邊界值設定和最佳化成果，並根據最佳化成果，訂定群橋生命週期管理策略及成果說明。提供未來橋梁管理單位與其他研究單位參考使用。

7.結論與建議

回顧研究目的、確認本計畫之貢獻，並綜合本計畫之過程與結果，提出本計畫之結論與建議事項，提供未來相關研究之參考使用。

第二章　文獻回顧

本章分別針對本計畫應用與蒐集之相關文獻進行介紹與彙整。擬先蒐集文獻包括國內外橋梁維護管理制度與機制等相關文獻，與元件老化、洪水、耐震等性能指標。另外擬收集群橋維護時各橋梁維護之重要性影響因子。此外，本計畫將收集國內道路工程用路人成本與社會成本等相關文獻。另外後續將回顧相關研究方法如人工智慧(ESIM)、生物共生演算法(SOS)等相關文獻。

2.1 國內橋梁維護管理現況探討

2.1.1 橋梁養護權責法源依據

本計畫之範圍以公路總局轄管之橋梁為主，本章蒐集管理單位養護管理之相關法律，並且介紹相關橋梁維護管理規則與法令。其中，全國法規資料庫(2014)公路法及公路總局依公路修建養護管理規則[2]等相關法令規定，辦理公路橋梁養護，相關法令敘述如下：

1.公路修建養護管理規則部分(全國法規資料庫，2014)

依據民國 102 年 11 月 26 日修正的「公路修建養護管理規則」，在目前國內之橋梁管理現況中，橋梁管理之辦法被包含在公路管理系統中，相關法條如下所示。

第 5 條：本規則所稱公路之養護，指為維持公路原有效用及公路用地之完整，並避免造成環境公害，所採行之各種維護措施。

第 7 條：公路之修建、養護及管理，國道、省道由交通部之專設機構辦理，市道、區道由直轄市政府辦理，縣道、鄉道由縣(市)政府辦理；直轄市、縣政府並得將市道、縣道委託交通部之專設機構辦理。省道經過直轄市政府、市政府行政區域部分，其修建、養護及管理除快速公路由交通部之專設機構辦理外，由交通部與當地直轄市政府、市政府協商定之。跨兩省(市)或兩縣(市)之橋涵、隧道，其修建、養護及管理權責之歸屬，由交通部統一規定。

第 26 條：修建工程主辦機關 (構)，因工程規模或受經費限制，經報請公路主管機關核定後，得分期分段辦理，並得按年度分別編製工程計畫及工程預算。

第 32 條：公路主管機關，對所轄公路應指定養護單位擬訂全年養護計畫切實辦理，並保持各項設施之完整；遇有災害或意外毀損，應迅速通報、管制交通並予搶修。

第 33 條：公路養護業務之範圍如下：

一、公路路權之維護。

二、公路路基、路面、路肩、橋梁、隧道、景觀、排水設施、行車安全設施、交控及通信設施之養護。

三、其他設置於公路用地範圍內各項公路有關設施之養護。

2.公路法部分(全國法規資料庫，2014)[2]

依據民國 102 年 7 月 3 日最新公布之公路法第一章之規定，各級公路管理機關大致可依下列規則區分：

第 1 條：為加強公路規劃、修建、養護，健全公路營運制度，發展公路運輸事業，以增進公共福利與交通安全，特制定本法。

第 3 條：本法所稱公路主管機關：在中央為交通部；在直轄市為直轄市政府；在縣(市)為縣(市)政府。

第 6 條：管理機關之規定：

(1)國道、省道，由中央公路主管機關管理。但省道經過直轄市、市行政區域部分之管理，除自成系統之快速公路外，由中央公路主管機關與直轄市政府、市政府協商定之。

(2)市道、區道由直轄市公路主管機關管理。

(3)縣道、鄉道由縣(市)公路主管機關管理。但直轄市、縣(市)公路主管機關認有必要，得與中央公路主管機關商定委託管理期限，將市道或縣道委託中央公路主管機關管理。前項市道委託管理期限，以改制直轄市後三年為原則。

第 6 條：養護工程之辦理機關:

國道、省道之養護，由中央公路主管機關辦理。但省道經過直轄市、市行政區域部分之養護，除自成系統之快速公路外，由中央公路主管機關與直轄市政府、市政府協商定之。

市道、區道之養護，由直轄市公路主管機關辦理。

縣道、鄉道之養護，由縣(市)公路主管機關辦理。但委託中央公路主管機關管理之市道、縣道，由受委託之中央公路主管機關辦理。

故依公路法之規定，國內橋梁維護管理單位分類如下：

a.縣、鄉道橋梁：由縣(市)公路主管機關管理，或委由公路總局代養。

b.國道橋梁：由中央公路主管機關管理。

c.省道橋梁：由中央公路主管機關管理。

d.市區道路橋梁：由直轄市公路主管機關管理。

2.1.2 公路維護規範

前章節主要介紹的是各橋梁的養護執行單位、主管機關與預算來源。本計畫之範圍是以公路總局轄管之橋梁為主，本章針對公路總局闡述養護管理之相關法令、檢測機制與公路養護手冊。

以下為公路橋梁之維護規範：

1.法源依據部分：

公路養護單位依據民國 96 年 7 月 11 日公布之交通部組織法第十一條(全國法規資料庫，2014)：「交通部設公路總局；其組織以法律定之。」，因此公路總局被設置，負責公路之修建養護。由表 2-4 橋梁養護權責劃分與預算編列之關係中，可知道公路之修建養護預算編列係由交通部辦理。

2.檢測機制部分：

「公路養護手冊」原頒布於民國 76 年，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，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(公路總局養護手冊，2012)[3]。

本手冊修訂後共分 15 章 1 附錄，依省道公路養護需求及特性，分別就養路巡查、已完工之路基及邊坡、鋪面、橋梁、隧道、排水設施、交通工程設施、交控設施、沿線路權內附屬設施、景觀及植栽等各項設施及其分類構造物，敘明其內容、養護注意事項、檢測或清查作業及相應之養護方法等，並訂明各項公路設施之巡查方式、頻率項目、注意事項與各類參考表格供參考。

此外，為因應近年來異常氣候常致重大公路災害，亦強化橋梁檢測、橋墩保護等作業規定，及增列邊坡監測系統巡查項目，部分項目因應科技發展，或委由專業技術顧問公司辦理檢測，俾以進行更詳盡之檢查及建議報告，提升管養作業效能，以確保用路人安全。公路養護手冊中對檢測類別及方式中，分為定期檢測與特別檢測，後續將介紹。

(1)定期檢測：定時對橋梁構件實施檢測，檢測重點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、搭乘橋梁檢查車或其他高空作業車儘可能接近橋梁構造物，予以較詳盡之檢查，評估橋梁構造物之安全情形。

(2)特別檢測：由天災（如颱風、豪雨、地震等）或人為破壞因素（如火災或車輛撞損等）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護、補強。

2.1.3 橋梁狀況指標

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 公司與昭陵顧問工程股份有限公司制定之目視評估準則(公路總局養護手冊，2012)[3]。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。

劣化程度(D)、劣化範圍€、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 2-1。

表 2-1 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，2012[5]

本計畫將分別介紹橋梁元 (構)件狀況指標、洪水指標與地震指標如下所示：

1.橋梁元件狀況指標 CI

在「橋梁檢測評估與補強」文獻中(李有豐等，2000)[5]，D.E.R.&U.檢測法考慮橋梁結構性、安全性、重要性等，使用橋梁元件狀況指標 Ic_{ij} 進行橋梁評估。當 Ic_{ij} 愈小，表示該橋梁元件損壞愈嚴重，其橋梁元件狀況指標計算公式如式(2.1)：

$$Ic_{ij} = 100 - 100\frac{D \times E \times R^a}{(4+4) \times 4^a} \quad \text{.....(2.1)}$$

- Ic_{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。
- α：表示相對重要權重之參數，通常內定值為 1，若使用者欲強調該元件之重要性，可取 2。

當各元件 Ic_{ij} 評估完畢後，再將所各元件 Ic_{ij} 值帶入式(2.2)，可獲得該元件項目 i 之狀況值 Ic_i。最後把 Ic_i、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，CI 愈低則反之。

$$Ic_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} Ic_{ij}}{n} \quad \text{.....(2.2)}$$

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^{20} Ic_i \times w_i}{\sum_{i=1}^{20} w_i} \quad \text{.....(2.3)}$$

- Ic_{ij}：各元件狀況指標。
- Ic_i：為元件項目 i 之狀況值。
- n：橋梁各元件之總數。
- CI：橋梁整體狀況指標。
- w_i：元件 i 相對橋梁之權重。

2.橋梁洪水沖刷狀況指標(SSI)

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元件之狀況，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，當該些元件檢測狀況不佳時，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。SSI 值係取六項最具代表性之 Ic_{ij} 加以平均。計算公式如式(2.4)：

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

3.橋梁地震損傷指標

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)，並找出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)與結構容量曲線譜的交會點，稱為性能點(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 Ay 為降伏地表加速度，Ac 為崩塌地表加速。本計畫參考文獻(鄭明淵等，2011)「橋梁通阻檢測分析模式建立研究」[6]，依側推分析(Pushover)所得之 Ay 及 Ac 值，利用武田模式(Takeda model)進行橋梁之非線性動力分析。考量橋梁所在位置之劣化影響及可能遭遇地震等因素計算地震損傷指標。

2.1.4 橋梁維護管理現況

目前國內各橋梁管理系統[7]中，屬「臺灣地區橋梁管理系統」(簡稱 TBMS，Taiwan Bridge Management System)之資料最為完善，涵蓋各個養護機關所管轄的橋梁，本節透過「臺灣地區橋梁管理系統」統計之相關資料，了解國內橋梁管理之狀況。最後，因各橋梁管理機關之檢測機制、預算來源、維護機制皆不相同，本計畫範圍以公路總局轄管之橋梁為主，介紹其橋梁養護執行單位、主管機關與預算來源等。

1.橋梁管理現況與數量統計

國內橋梁管理機關其職權分配甚為複雜，本計畫引用文獻張凱帆之「橋梁維護標準工項之初步研究」(2009)[8]與相關法令彙整後，歸納出國內橋梁所屬主管機關與管理層級體系表，以表 2-2 所示。

表 2-2 臺灣橋梁主管機關及管理體系

運輸系統			督導機關		管理機關與單位
			中央	專責地區	
鐵路	國有鐵路		交通部	鐵路局	鐵路局-工程處-工務段
	專有鐵路		行政院農委會	林務局	林務局
			其他	-	所屬機關
道路	公路系統	國道	交通部	高速公路局	高工局-工程處-工務段
		省道(代管橋梁)	交通部	公路總局	公路總局-工程處-工務段
		縣、鄉道	交通部	縣(市)政府	縣(市)政府-工務局-鄉鎮市公所
	非公路系統	市區道路	內政部營建署	直轄市政府	直轄市政府-工務局-養工處
		產業道路	行政院農委會	縣(市)政府	縣(市)政府-工務局-鄉鎮市公所
		專用道路	經濟部	專屬機關	專屬機關(如台電)
			其他	-	所屬機關(如港務局)

資料來源:張凱帆，2009[8]

而橋梁主要專責轄管機關為交通部公路總局、高速公路局、鐵路局及縣市政府，如下表 2-3 所示，依照 103 年度 3 月份臺灣地區橋梁管理資訊系統統計資料(楊振翰，2005)[9]，其主要橋梁管理機關其所轄橋梁數目如下表：

表 2-3 橋梁管理機關所轄橋梁數目表

橋梁管理機關	橋梁管理數目	平均橋齡
交通部公路總局	2,590	22.74
交通部鐵路局	1,641	32.83
交通部高公局	2,446	18.25
各縣市政府	11,529	23.41
總計	18,524	23.46

資料來源：本計畫統計自民國 103 年 3 月 TBMS 資料庫

由上表可知橋梁養護管理單位有公路總局、鐵路局、高公局與各縣市政府，其平均橋齡已屆 23.46 年，其中以各縣市政府養護橋梁數量最多，其業務可謂繁重。

2.橋梁養護權責劃分與編列預算之關係

另外，國內橋梁各橋梁管理機關之檢測機制、維護機制、預算

來源皆不相同。由表 2-4 可知，除目前市區道路、鄉道、產業道路其預算來源與主管機關較複雜外，養護單位與預算來源不同也是目前維護之困境，在文獻(楊振翰，2005)[9]的研究中探討國內橋梁之維護管理現況，因橋梁檢測、維護預算對橋梁維護的關係密切，若當養護之人員因缺乏專業、編列預算困難或預算不足時，易衍生檢測、維護以及後續維護之問題。因此本計畫希冀能透過群橋成本維護最佳化模式之確立，提供橋梁管理單位在維護預算作業上之助益。

表 2-4 橋梁養護權責劃分與預算編列之關係

	預算來源	主管機關	養護執行單位
國道	高速公路局	交通部	高速公路局
省道	公路總局	交通部	公路總局
鐵路	鐵路局	交通部	鐵路局
市區道路	中央補助、市政府	縣市政府	市政府
	中央補助、縣市政府、鄉鎮公所		鄉公所
	中央補助、縣市政府、鄉鎮公所		縣政府、鄉鎮公所
縣道、鄉道	中央補助、縣市政府	縣市政府	縣市政府
產業道路	中央補助、縣市政府	縣市政府	縣政府、鄉公所

資料來源：楊振翰，2005

2.1.5 橋梁維護管理機制

本計畫茲以公路總局為探討對象，分別針對養護組織及業務職掌與其以往檢測維護依據、檢查類別及維護管理經費編列情形做說明，以了解國內在公路系統維護管理作業上之發展狀況，本章引用文獻 (延允中，2004)[10]，其中對國內橋梁維護管理機制、成效查核與經費編列探討。

2.1.5.1 養護組織及業務職掌

公路總局的工作範圍包括公路工程與公路監理兩大部份，其中工程又分新建工程與養護工程，在養護工程維護管理方面，局本部設有「養路組」除公路整體政策研究規劃、政策協調及資源分配之整合，另專司管理維護之彙總工作，辦理省道及重要縣道之養護、督導及改善工程之設計施工，景觀、交通工程之策劃及設置事項。公路總局之組織及課室相關養護組織執掌圖如圖 2.1 所示：

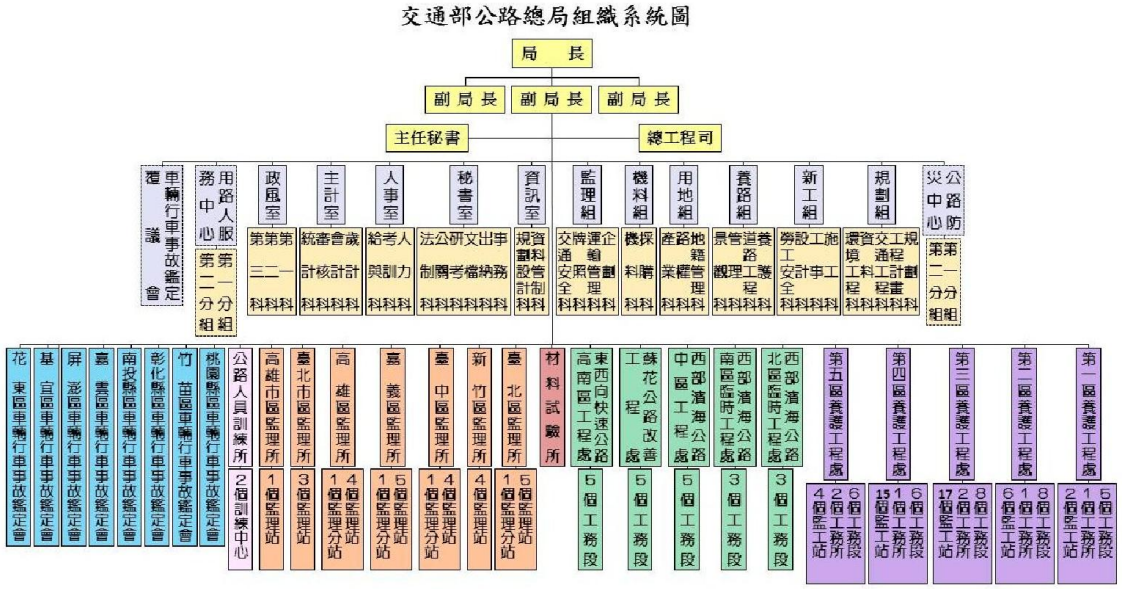


圖 2.1 公路總局組織圖

資料來源:交通部公路總局網站

本計畫主要之目的為幫助橋梁管理單位在預算有限之下決定橋梁維護之優先順序。因本計畫的對象為公路總局，公路總局又隸屬於行政院交通部，其下層管理機關總共有 5 個工程處，各工程處其下又有 5~8 個工務段。實務上維護預算之編列狀況為，各處會統計各段之當年度預算需求，之後彙整後會跟局本部報告，局本部再報告給行政院，行政院把各部之預算彙整後給立法院，立法院依據年度預算增減，將總預算給局本部，後續局本部會再跟各處討論預算分配，最後各處再把預算分配給各工務段。因各工程處負責彙整各工務段的資料，並編列預算向總局提報，於預算編列也希望得到決策支援，因此本計畫之成果係假設在預算編列與群橋維護策略上，係提供決策支援給各工程處。

根據 (陳俊仲，2007) [11]文獻在公路總局組織與分工介紹中，維護管理決策之架構上主要分成三個層面，分別為為工務段、各區工程處、總局：

1.工務段

養護工程師詳實記錄各橋梁狀況、定期填寫檢測記錄，在檢測過後發現劣化之情況下須擬定橋梁維護方案並提報，維護方案最常

遇到困難之處即為預算編列部分，必須從 PCCES 系統中查詢，或者向顧問公司詢問，甚至需要到市場訪價。

2.各區工程處

對於橋梁維護的角色主要為第一層的把關者，審核各工務段提報資料的正確性，而各工務段提報之資料被退回的原因常為維護工項與劣化構件並無關聯。如讓填寫的檢測資料中有劣化的構件與提報之工項連結，能夠避免此項情況發生，故希望可選擇劣化類型，並於選擇後給予該構件維護工項的建議。彙整各工務段的資料後，工程處需編列預算並向總局提報，對於預算編列也希望得到決策支援。

3.總局

對於各橋梁維護方式、年度預算編列、維護經費分配擁有決定權，為最終的決策者。公路局所轄橋梁皆為交通要道，任一橋梁皆不容許發生意外，但發生經費有限之情況時，如何有效使用讓橋梁危險性降到最低是決定經費分配的最大原則。

2.1.5.2 公路總局維護經費編列制度

1.檢測維護之依據

交通部依行政院指示以 84 年 5 月 9 號公共建設督導會報決議事項擬訂後續橋梁管理政策後，公路總局旋即依該發展方向於民國 85、86 年度委託國內工程顧問及學術機構辦理 80 座屬維生線或有安全顧慮之重要橋梁 (其餘由公路總局自行檢查)之安全檢測評估工作，並委由國立中央大學開發電腦系統化的橋梁管理系統，並編寫混凝土橋梁檢查、混凝土橋梁維護等維護管理手冊供公路總局同仁參考使用。

以上所列全部工作於 87 年完成後提供公路總局橋梁巡查時參考俾利詳實填入管理系統時使用；公路總局復依據民國 76 年交通部頒「公路養護手冊」、「公路橋梁安全檢查手冊」、「公路修護管理規則」及公路總局規定，訂定內部管理要點作為執行轄屬橋梁維護管理業務之依據。

2.檢查類別

(1)定期檢查：係由各區工程處自行指派富有經驗之資深工程司率所轄工務段於每年十一月卅日前完成檢查。

(2)特殊檢查：凡颱風、地震、大洪水等災害過後應立即檢查。

3.檢查注意事項

檢查有無下列狀況：橋梁桁架位置走樣及接頭變形、鉚釘鬆動、橋墩橋台磨損、支承滑動、伸縮縫損壞、橋面破裂、欄杆碰損、河道改向、橋梁基礎及墩台有無沖空之情事或發生大型龜裂及護岸有無沖毀等及其他。

4.維護經費提報方式

在養護經費編列預算時，係由工程處工務段之養護工程司，將該所轄路段需維護狀況彙整成報告後向工程處提報，並經由內部審核以及配合養護歷史資料後，以決定該維護管理預算是否通過。

5.維護管理預算

下表 2-5 為學者延允中(2004)彙整公路總局 86~91 年度公路總局維護管理總預算(包含道路、橋梁、山坡地、隧道)，可了解養護費佔年度整體費用平均約 23%。

表 2-5　86~91 年度公路總局維護管理總預算表

單位:仟元

	維護管理預算說明	86 年度	87 年度	88 年度	88 下及 89 年度	90 年度	91 年度
1	公務預算	12,577,075	14,601,735	16,810,907	46,508,796	32,703,000	19,334,700
2	汽燃費分配款						
	公路養護計畫	3,986,134	3,647,268	3,327,886	12,571,527	8,795,225	8,961,778
	補助及捐助部分	791,000	791,000	791,000	5,416,485	0	0
	小計	4,777,134	4,438,268	4,118,886	17,988,012	8,795,225	8,961,778
	養護經費佔全部經費比例	23.9%	20.2%	17.3%	27.4%	21.2%	31.7%
3	交通建設基金						
	公路、橋梁拓寬改建（善）工程	2,663,000	2,911,721	2,916,957	1,113,000	0	0
公路局總預算金額		20,017,209	21,951,724	23,846,750	65,609,808	41,498,225	28,296,478

因公路總局維護管理總預算包含山坡地、隧道、道路與橋梁，本計畫為得知橋梁之歷年維護預算，從政府採購網蒐集各區工程處之歷年預算，包含一般維護、耐震補強與改建工程。下表 2-6 為 89~102 年二區工程處橋梁維護管理預算表，經統計二區工程處年平均維護管理預算值為 1,407,154,097 元(考慮基期)。

表 2-6 89~102 年度二區工程處橋梁維護管理預算表

單位:元

	改建工程與耐震補強	一般維護	總共	備註
89	96,559,340	792,170,152	888,729,492	
90	69,872,010	560,295,508	630,167,518	桃芝、納莉
91	1,307,664,772	1,235,476,620	2,543,141,393	
92	603,196,860	1,492,957,811	2,096,154,671	
93	41,229,817	487,295,820	528,525,637	
94	314,533,119	544,371,315	858,904,434	
95	270,001,872	686,818,594	956,820,466	
96	543,926,107	130,859,164	674,785,271	
97	850,484,338	2,081,595,539	2,932,079,877	薔蜜、辛樂克
98	2,930,215,800	1,872,802,266	4,803,018,066	莫拉克颱風
99	172,269,072	565,846,268	738,115,340	
100	374,509,528	174,065,570	548,575,099	
101	544,719,412	59,261,735	603,981,147	
102	754,249,933	142,909,012	897,158,945	
平均	633,816,570	773,337,527	1,407,154,097	
標準差	826,328,258	618,198,916	1,186,531,616	

資料來源:政府電子採購網，2014[12]

2.2 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 2-7 所示。

表 2-7 國內目前橋梁檢測相關文獻蒐集

類別	檢測規範	檢測手冊	檢測相關研究報告與文獻	檢測資訊系統	檢測表單
一般檢測	1.交通技術標準規範公路類公路工程部公路養護規範 2.公路養護規範1067公釐軌距軌道橋隧檢查養護規範 3.國道高速公路局橋梁檢測作業要點 4.公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範 5.鐵路鋼結構橋梁之檢測及補強規範	1.公路養護手冊	1.建立橋梁檢測制度方法及準則之研究 2.橋梁安全維護檢測手冊(草案) 3.橋梁生命週期成本評估-構件劣化預測模式之研究 4.橋梁目視檢測評估手冊（草案）	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)	DERU(CI)
沖刷檢測	1.跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)	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	DERU(SSI)
耐震檢測	1.公路橋梁耐震設計規範	1.公路橋梁耐震設計規範	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(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	1.橋梁地震損失評估系統(TELES)	1.TELES(T) 2.公路橋梁耐震評估表-落橋(E_d) 3.公路橋梁耐震評估表-強度韌性(E_f)

2.3 橋梁維護的優先順序

各個國家在定義橋梁維護優選排序時，考量之因素與方法眾多，其考慮之因素差異相當大，如道路之重要性等級、維護成本的最低估算、政策、替代道路長短、道路等級與橋梁生命週期成本、橋梁管理單位維護預算限制等方式來管理橋梁之維護策略。目前國內之研究較偏向美國以重要性相關因子權重的方式決定。

本計畫整理出國內與國外目前相關橋梁維護排序方法與各國橋梁管理單位優選排序考量之因素，如表 2-8 所示。

表 2-8 國內目前橋梁維護優先順序文獻蒐集

國家/系統	橋梁優先排序考量因素
臺灣	1.橋梁的重要性等級 2.結構性指標 3.特殊性指標 4.服務性指標 5.易損性指標
芬蘭	維護的指標(結構元件的破壞程度和傷害造成維護的緊急等級)
法國	1.橋梁的情況　2.道路等級 3.地方管理單位的有限預算　4. 政治 5. 地方政府維護的可行性(考察與維護)
挪威	1.橋梁破壞的程度與後果 2.調查並考量技術性或替代策略 3.評估價值工程(直接成本與非直接成本)
美國加州(DOT)	效率成本比率
美國各州 (未含加州)	橋梁的重要性等級
德國	1.橋梁的情況　2.橋梁破壞的程度與後果 3.道路等級　4.橋面板的淨空度 5.交通安全　6.合宜的人員
比利時	結構物可靠度的風險
葡萄牙	1.橋梁的情況 2.傷害的範圍與結果 3.交通的安全性 4.維護成本的最小化
英國	1.全生命週期 2.安全性指標 3.政治

資料來源:本計畫整理[13][14][15]

2.4 橋梁維護之重要性非直接成本因子

本計畫希望將橋梁之重要性納入考量，接著，將藉由文獻回顧、橋梁管理單位訪談等方法，初步確認橋梁重要性非直接成本影響因子，然後利用篩選之方法確認非直接成本影響因子與用路人成本之關聯，再依各因子之關聯性建置一橋梁重要性與用路人成本評估模式。

相關國內研究中[16]，學者葉士青(2004)參考 11 種美國各州運輸部所採用之橋梁重要性評估法，分別是 Babaei & Hawkins(以下簡稱

B&H)、 Mod. B&H、Mod. Buckle、Montana、Nevada、Missouri、IDOT 法等，進行各方法之比較分析，最後，此研究根據本土橋梁之特性與需求，建議國內環境適合使用之橋梁重要性評估方法為 BH2，BH2 橋梁重要性評估指標因子如表 2-9 所示。

表 2-9 BH2 橋梁重要性評估指標項目

BH2橋梁重要性評估指標項目	單位
功能分類	道路服務等級
橋長	公尺
平均日交通量	車流量
改道長度	公尺
維生管線	有/無
國防用途	有/無

另外，目前國內評估橋梁維護優先順序的相關研究方法有橋梁綜合評估指標(曾志煌等，2008)[15]與橋梁重要程度等級評定(蔣偉寧等，2004)[17]等方式，此架構是先將評估指標層級化，建立各層級之相關因子，再請專家評估各項橋梁評選因子，建立各因子之權重，後續以每一座橋梁之條件代入算出積分，最後以積分高至低之方式排序。

本計畫彙整國內外決定橋梁維護優先順序的重要性相關非直接成本因子的相關文獻，並以層級之方式將各項非直接成本因子建立其類別，再依據各類別考慮之非直接成本因子，將其量化成用路人成本，以應用在模式最佳化排序中。

本計畫將橋梁維護的重要性分成 6 大類，分別是經濟衝擊、生命安全、維生管線、歷史價值、國防用途、緊急應變系統，如圖 2.2 之架構圖，並根據國內外之文獻，整理出各類別之相關非直接成本因子。表 2-10 至表 2-12 分別為文獻來源說明、重要性類別非直接成本因子表、重要性類別非直接成本因子說明。之後擬依據國內 TBMS 系統之既有項目與因子的特性做篩選，依照其類別將其量化成用路人成本。

表 2-10 重要性非直接成本因子文獻來源與說明

文獻來源類別	文獻相關說明
TBMS[7]	Taiwan Bridge Management System 為臺灣地區橋梁管理系統，簡稱 TBMS，目前提供公路總局與各縣市政府橋梁管理單位使用。為了使本計畫非直接成本因子找出相符之對應，故列出此類別。
公路總局[17]	蔣偉寧、顏上堯等人，橋梁重要程度等級之建立，交通部公路總局委託中央大學執行之研究計畫，2004。
運輸研究所[15]	姚乃嘉、黃榮堯等人，縣市政府所轄老舊橋梁改善可行性評估，交通部運輸研究所委託執行之研究計畫，2008。
葉士青，2004[17]	葉士青，臺灣公路橋梁重要等級評估之研究，中央大學，2004。
Mod.B&H'91[17]	Mod.B&H'91 是 Babaei and Hawkins 的簡稱，為 Washington DOT(Department of Transportation)華盛頓州交通部採用的重要性評估方法（Importance Rating）。 其中，重要性因素有考慮通過此橋之道路種類、橋梁所橫跨之道路種類、橋長、附掛於橋上之維生管線、橋上/橋下之 ADT 及改道長度等因素等。
Mod.Buckle'95[17]	Mod. Buckle'95 是 New York DOT 紐約州交通部採用的重要性評估方法， Buckle 方法考慮橋梁之重要性因素為是否是重要設施、是否位於運輸路網、是否為國防之用、ADT、附掛於橋上之維生管線數、改道長度及橋梁功能分類等因素。
Montana[17]	Montana DOT 是蒙大拿州交通部採用的重要性評估方法，評估方法考慮因素有橋上/下之平均日交通量、改道長度、橋梁所橫跨之道路種類、通過此橋之道路種類及橋長等。
Nevada[17]	Nevada DOT 是內華達州交通部採用的重要性評估方法，Nevada 方法考慮之重要性因素有道路種類、交通量、改道長度、維生管線、道路是否為防衛之用及橋上/下是否有鐵路通過等。
South Carolina[17]	South Carolina DOT 是南卡羅來州交通部採用的重要性評估方法。將橋梁分成 ICI 及 ICII 兩種等級，ICI 為較重要之橋梁，考慮的重要因素如跨越或位於州際公路、位於卡車或國防公路網上，或提供通往發電廠、緊急救援及水資源處理設施之要道。
Missouri [17]	Missouri DOT 是密西比州交通部採用的重要性評估方法，考慮因素為橋長、橋梁所橫跨之道路寬、橋上/橋下車道數、ADT、道路重要性及改道長度等。
Illinois[17]	Illinois DOT 是伊利諾州交通部採用的重要性評估方法，Illinois 方法考慮之重要性因素有服務類型、橋長、橋寬、交通量、改道長度、維生管線、國防用途等。
European BRIME[16]	Bridge Management in Europe(BRIME)為歐盟的各個國家如英國、法國、德國、挪威等一同進行研究的公路管理計畫，主要目的為發展橋梁管理架構系統 Bridge Management System(BMS)。在決定橋梁維護的文獻中引用(Vassie, 1997 和 Mechanical Engineer's Handbook, 1998)的方法，決定橋梁維護的優先順序中考慮的重要性因素有道路等級、交通量、橋梁的位置與歷史的價值等考量。

表 2-11 重要性類別與非直接成本因子表

類別	文獻來源 / 非直接成本因子	公路總局[18]	運輸研究所[16]	葉士青 2004[17]	Mod. B&H'91	Mod. Buckle'95	Montana	Nevada	South Carolina	Missouri	Illinois	European BRIME	TBMS[8]
經濟衝擊	橋梁長度	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎	◎			◎
	橋梁寬度							◎	◎	◎	◎		◎
	改道長度	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎
	道路等級	◎		◎	◎		◎	◎		◎		◎	◎
	橋上交通量	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎
	功能分類					◎							◎
	車道數							◎		◎			◎
	服務類型							◎			◎		
	全國性路網								◎			◎	
生命安全	橋梁長度	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎	◎			◎
	橋上交通量	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎
	橋下交通量	◎	◎										
	功能分類			◎	◎	◎							◎
	跨河橋梁						◎		◎				
	車道數							◎		◎			◎
	老舊橋梁		◎										
維生管線	維生管線	◎	◎	◎	◎	◎		◎			◎		◎
緊急應變系統	緊急應變系統	◎	◎										
國防用途	戰略位置	◎	◎			◎		◎	◎		◎		
	後勤補給路線	◎											
歷史價值	古蹟	◎										◎	
	工程技術特殊性	◎	◎										

表 2-12 重要性類別與非直接成本因子說明

類別	非直接成本因子	因子說明
經濟衝擊	橋梁長度	橋長越長，當受損時可能影響之車輛人員安全之可能亦愈高，通過橋上之車輛人員相對較多，可能影響之車輛人員安全之可能性亦愈高，當災害發生橋梁受損時，相對相關之維護費用亦會較高。
	橋梁寬度	橋梁的寬度越寬代表車道越多
	改道長度	橋梁損壞禁止通行後，使用者改道繞行之長度，使用路人成本增加，旅行時間增長，使用者將花費更多時間成本。
	道路等級	依公路法之定義，道路等級愈高在交通運輸、經濟的重要性愈重要，以國道、省道、縣道與鄉鎮道路區分。[公]
	橋上交通量	橋上交通量直接突顯橋梁服務用路人之重要性，交通量越大，表示橋梁使用量越大，交通量資料為橋梁重要等級評定中之重要關鍵因素。
	功能分類	屬於市區或郊區公路。
	車道數	車道的數量
	服務類型	僅供車行或同時供車輛及行人通行
	全國性路網	橋梁是否位於運輸路網之位置，如瓶頸點或主要連結點
生命安全	橋梁長度	橋長越長，當受損時可能影響之車輛人員安全之可能亦愈高，通過橋上之車輛人員相對較多，可能影響之車輛人員安全之可能性亦愈高，當災害發生橋梁受損時，相對相關之維護費用亦會較高。
	橋上交通量	橋上交通量直接突顯橋梁服務用路人之重要性，交通量越大，表示橋梁使用量越大，交通量資料為橋梁重要等級評定中之重要關鍵因素。
	橋下交通量	當橋梁有跨越其他道路時，若發生事故對橋下道路之影響也會隨之發生，對生命安全也會造成衝擊。
	功能分類	屬於市區或郊區公路。
	老舊橋梁	老舊橋梁較易因其功能不符合需求，或設計條件歷經規範修改已不符現行設計規範之要求，或因材料已歷經多年，較易有材料疲勞及剝落損毀之疑義。
維生管線	維生管線	維生管線指附掛橋梁上之民生管線，如自來水管、油管、瓦斯管、電力或電信管線等。一旦橋梁受損導致管線損壞，將衝擊到特定區域之民生、農業及工業等用水或用電，甚至於影響整個電信系統的運作。
緊急應變系統	緊急應變系統	用以量度災害發生並造成橋梁破壞之後，對仰賴運輸系統完整有效之緊急應變之衝擊。
國防用途	戰略位置	在國防用途上橋梁所在位置對軍事之重要性。
	後勤補給路線	對於橋梁損毀時，部隊移防，後勤補給之路線都將有影響。
歷史價值	古蹟	依文化資產保存法經相關主管機關指定、公告之歷史文化遺蹟或未被指定為古蹟，但能夠彰顯歷史、文化價值之橋梁。
	工程技術特殊性	使用特殊工法興建之橋梁，或為某特殊工法第一次使用之橋梁，具有一定工程上之價值。

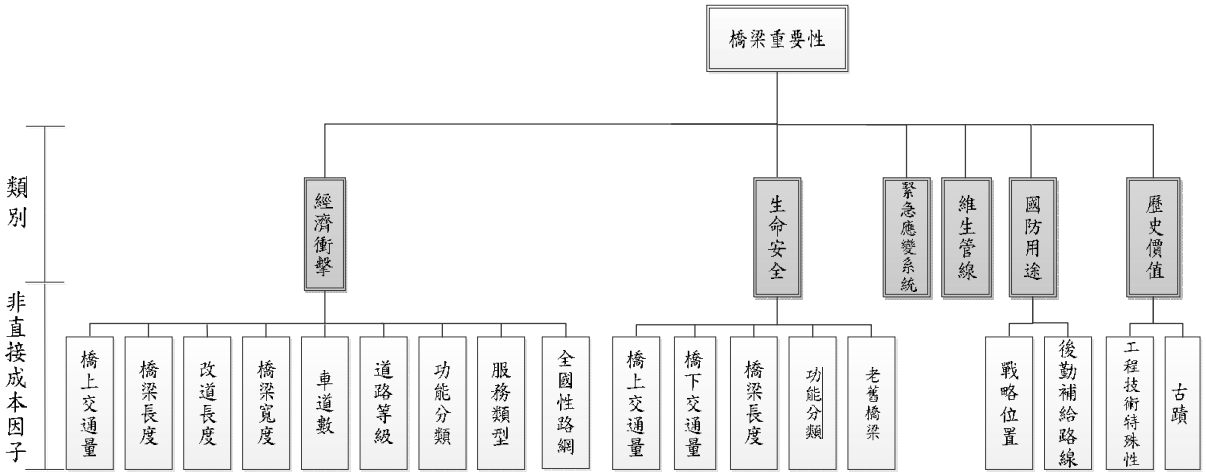


圖 2.2 橋梁重要性評定架構圖

資料來源:本計畫整理

2.5 橋梁斷橋與維護造成之用路人成本

本計畫整理國內相關社會成本與用路人成本文獻，因橋梁中斷與維護可能造成用路人旅行延時，還有車輛運行之時間增加，本計畫依各項目建立其類別包括經濟衝擊、生命安全、環境等因素。後續將各類別篩選後重要性非直接成本因子，量化成橋梁維護造成用路人損失之成本。本章介紹相關文獻公式與因子蒐集之文獻 。

2.5.1 用路人成本意義

用路人成本屬於社會成本的一部分，社會成本包含商家營業損失、交通延遲、生活不便、 環境污染等成本，相關探討如下述：

1. 社會成本是整體社會之資源：(林慧敏，1991)[18]發現社會成本是指整個社會的資源，予以最佳使用時的價值；社會成本包含個別企業的投資成本及對整個社會所發生的效應；其正效果屬社會共享的利益，而負效果的損失則在無形中使群體大眾蒙受損失；此種損失係強迫分配予社會大眾，此種之強迫不是政治的也不是法律的強迫，乃是無形的讓群眾蒙受損失，使社會在無形之中遭受損害。

2.工程之社會成本包含交通延遲、營業損失、生活不便、 環境污染等

成本：(尤琬姿，1999)[19]在地下管道量化分析中發現，由於公用事業需求大幅增加，因此地下管道需求擴充殷切；除道路遍佈各種管線外，更常因局部修繕、拆遷或新增需不停的挖掘道路，造成交通延遲、營業損失、居民生活不便，加上環保意識高漲，使得居民無法忍受管道施工之環境污染以及付出的社會成本，研究中除了瞭解不同施工法之各項成本評估外，亦將社會成本列為評估項目之一。

3. 社會成本是指工程施工中所發生的：(羅紹松，2002)[20]發現道路工程施工期間經常遭遇工程延宕的問題，諸如用地取得、地上物拆遷及工地附近居民阻擾等問題，其乃肇因於交通衝擊、環境污染以及附近商家營業損失，前述之衝擊導致無形之巨額損失，稱之為社會成本；根據案例分析發現，施工過程中所有可計量和虛擬不可計量之社會成本高於工程造價約 4.9～5.7 倍，藉此呼籲有關單位重視工程延宕所帶來的嚴重性，並應於工程設計前考量縮短工期，以避免不必要之社會成本損失。

4. 社會效益為影響橋梁維護組合之先後順序考慮:(賴鈺倩，2001)[21]提出在橋梁管理單位評選未修橋梁及編列預算時，利用數學規劃方法，建構維護橋梁評選模式，以效益為最大目標，評選出最佳的維護橋梁組合，效益定義係指在不同的橋梁服務等級下對於用路人的影響，所造成的成本差異，其主要衡量項目包含意外事故節省值、車輛運行成本節省值、旅行時間成本節省值。

5. 社會成本對橋梁之效益:(翁明全，2005)[22]在評估橋梁因維護補強後，可保持橋梁安全通行，能節省橋梁中斷後遇繞道所造成之社會成本，因此節省之社會成本可作為維護補強之效益，主要評估的節省效益包含用路人延時成本、車輛運行成本、事故發生成本、噪音汙染成本、空氣汙染成本。

6. 以用路人成本的角度計算社會成本:(徐沛澐，2010)[23]採用經建會之定義來計算用路人成本，並參考工程效益評估與成本屬性，對用路人因施工所增加的旅行時間成本、施工改道或行駛替代道路所衍生的繞行成本、因旅行時間增加或繞行距離增加所衍生的行車成本、

因施工造成交通意外事故所衍生的肇事成本，及空氣與噪音污染等環境成本做計算。

2.5.2 用路人成本量化

因此，本計畫針對橋梁中斷與維護可能造成之用路人與社會成本損失，蒐集相關文獻。本計畫整理國內相關社會成本與用路人成本文獻，根據文獻[22-24][26]所提及的成本項目，其成本項目如旅行延時成本、車輛運行成本、事故發生成本、噪音汙染成本、空氣汙染成本與商家損失金額等成本項目。另外，依各項目建立其類別包括經濟衝擊、生命安全、環境衝擊、工商衝擊等因素，各類別裡的成本項目經過量化之後即可代表用路人成本，如表 2-13 所示。

在社會成本與用路人成本概算表說明中的各名詞，如用路人平均每小時時間價值、每次事故成本等，後續章節將會再做完整的介紹。

另外，在生命安全中的事故發生成本項目，事故成本中的每次事故成本包含了用路人的生命價值，此部分包含了用路人因意外事故造成死亡或輕重度傷害等生命價值損失，本計畫蒐集相關文獻[27-31]，如表 2-14 所示。

表 2-13 社會成本與用路人成本概算表 (元/天)

成本類別	成本項目	計算公式	文獻	說明
經濟衝擊	旅行延時成本	$(\frac{L}{S_a}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times w$	[22-24]	L：維護影響道路長度（Km) S_a：維護時車行速度（Km) S_n：平日車行速度(Km/hr) ADT：每日平均交通流量（輛/日) W：用路人平均每小時時間價值（元/hr） r：車輛平均每小時燃料及折舊成本（元/hr） Ca：每次事故成本（元/次） Aa：施工過程事故發生率（次/百萬輛公里） An：平日事故發生率（次/百萬輛公里） Nc：噪音降低願支付金額（元） dB：噪音分貝值 APC：空氣污染成本（元） CW：施工封閉寬度（m） ICC:工商衝擊成本(元) CH: 影響區域商家總數 CCL:商家平均損失金額
	車輛運行成本	$(\frac{L}{S_a}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times r$	[22-24]	
生命安全	事故發生成本	$L\times ADT\times(A_a-A_n)\times C_a$	[22-24]	
環境衝擊	噪音汙染成本	Nc=15.31403ΔdB+1412.052631	[25]	
	空氣汙染成本	APC=(244.146637×CW+608.940294)×L	[25]	
工商衝擊	商家損失金額	ICC=CH×CCL	[26]	

資料來源:本計畫整理

表 2-14 事故成本生命價值 (元/天)

研究者	研究方法	研究對象與研究內容	生命價值
陳立慧等 (1993)	人力資本法 資源利用計算法	從社會觀點以發生率式的人力資本法估計 1999 年某教學醫院因車禍受傷住院或死亡之個案為問卷追蹤對象，其一年間因機動車意外事故住院或死亡者之一生貨幣價值損失，包括醫療、罹病及致死損失並描述其分布特性。	死亡者:5,530,000(8%折線率) 受傷者:720,000
陳建立 (1994)	人力資本法 資源利用計算法	以高雄市頭部外傷患者 1991 年間其住院病人的經濟成本分析及其重還工作率。	輕微:98,200 中度:238,600 嚴重:394,600 死亡:11,060,000(包含照顧者損失，6%折現率)
張婉君 (1999)	特徵價格法	透過調查旅運者對城際鐵路、公路、航空之風險偏好與評價，運用效用理論裡補償變量的願付金額法，並利用特徵性價格法，以此建立旅運者之生命損失評價模式，以尋求旅運者的生命損失評價。	旅運者對運具風險之生命損失評價綜合平均值為:7,210,000
陳振祥等 (2000)	資源利用計算法	以 1995 年 7 月至 1996 年 6 月台北市交通事故肇事紀錄及健保局給付紀錄，針對汽車交通事故傷害住院醫療費用分析與推估計算。	住院:62,400 門診:33,600 合計:96,000
陳高村、曾昭雄(2000)	當事人問卷調查	界定道路交通事故所衍生成本項目為有形成本(如當事人傷亡、財務/工作/工作能力損失等)和無形成本(如生活品質降低)，並以成本效益與風險補償觀念分析各項成本。	死亡案件總損失(含精神損失):3,762,000 輕度傷害:56,016 中度傷害(一級):173,342 中度傷害(二級):394,428 重度傷害(其他部位):885,246 重度傷害(四肢):1,771,422 重度傷害(頭部):2,722,744

資料來源:本計畫整理[27-31]

2.6 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：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)。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)。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。學者吳育偉等(2007)提出一最佳化決策模式「演化式支持向量機推論模式」(ESIM) [32]，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。

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

學者吳育偉等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 2.3 所示。

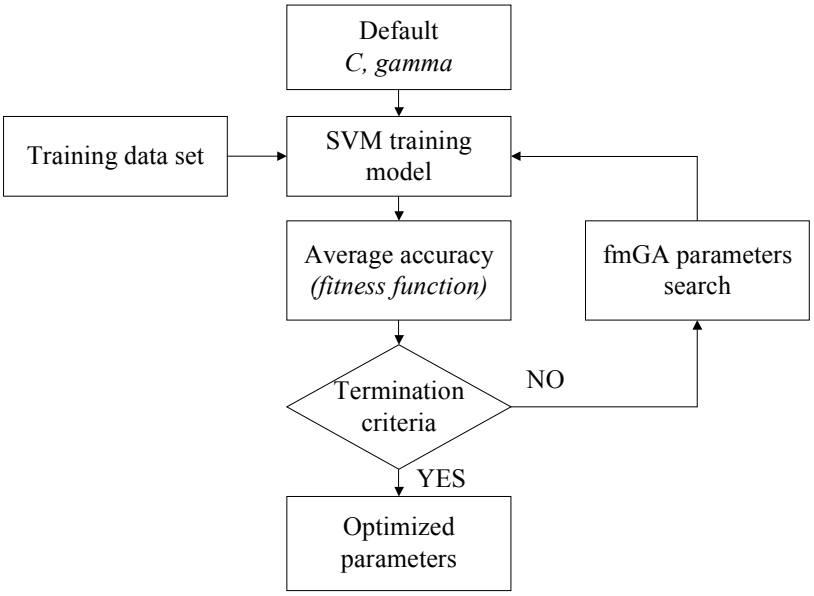


圖 2.3 支持向量機最佳化模式架構

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 gamma 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：

1.Default C, gamma：C與gamma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gamma可分別設定為1及1/M，其中M為變數個數。

2.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 patternsTraining data set）作為預測的輸入變數。

3.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作為訓練案例，輸入SVM中進行模式的初始訓練，SVM將以預設之C與gamma值作為模式中第一次訓練設定值。

4.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。

5.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)。

6.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。

7.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gamma值，即可求得最佳之推論模式。

2.6.2 ESIM應用

ESIM 應用程序為本計畫之 ESIM 應用程序，以下針對 ESIM 推論系統建構程序作進一步說明，如圖 2.4。

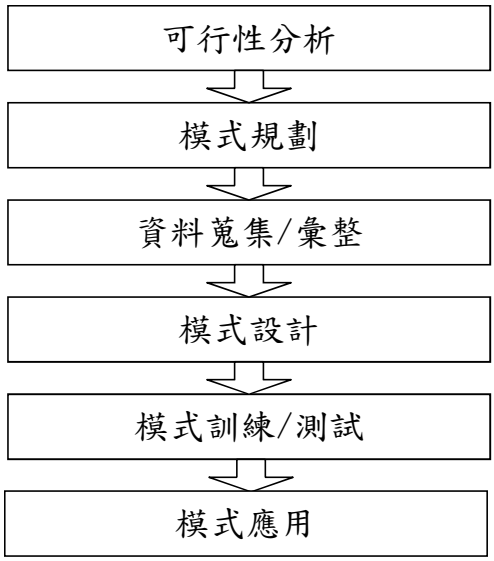


圖 2.4 ESIM 應用程序

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。本計畫利用均方根誤差

RMS（Root Mean Square Error）作為評估基準如式(2.5)，當誤差達到訂定標準時，模式即符合要求。

$$RMS = \left(\frac{\sum_{i=1}^{M} e_i^2}{M} \right)^{1/2} \quad \text{..... (2.5)}$$

RMS：均方根誤差

M：測試案例數

ei：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。

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

本計畫應用功能創新的演算法稱為生物共生演算法 SOS[33]，SOS 為鄭明淵學者和 Doddy Prayogo 學者(2014)所發展的一種新式最佳化演算法；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，用以模擬數值最佳化搜尋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，並描述共生關係在生態系統中的作用。

共生這個詞來自希臘字為“生活在一起”的意思。1878 年時 De Bary 第一次用來形容兩個同居的不同生物體。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，可能是兩種生物體互相依賴於對方的生存，或兩種生物體選擇同居在一個的環境，但彼此之間不發生互相互惠的依賴關係。

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。而片利共生是兩個不同的物種，對其中一方有好處，另一方卻是未受影響或無害的共生關係。最後，寄生是指兩個不同的物種，寄生對其中一方有好處，另一方是受到損害或影響的共生關係。

在圖 2.5 中，為一群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今的生態系統。

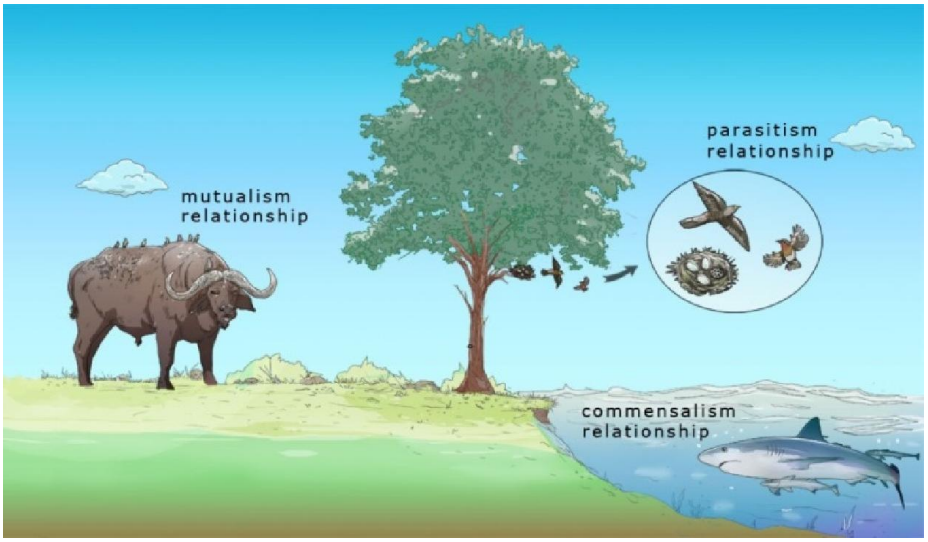


圖 2.5 生態系統中的生物共生關係示意圖

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 adjustmwnt)。而蜂群演算法(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(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
  - 互利共生階段
  - 片利共生階段
  - 寄生階段
- 直到（滿足終止條件）

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 群橋生命週期維護策略最佳化模式之建立

本章將說明本計畫之模式架構。首先進行橋梁風險評估與辨識，建立橋梁綜合能力指標，並針對風險因子:元件老化、洪水及地震，接著建立維護機率與風險影響程度之評估模式。後續章節依照研究步驟順序分成四部分進行說明:風險評估模式、橋梁維護機率、橋梁風險影響程度、群橋成本維護最佳化。

3.1 模式架構

本計畫發展建立一群橋生命週期維護策略最佳化之模式，群橋之定義為同一工程處管理之橋梁。橋梁風險評估模式中考量之風險因子分為可視風險(Visible):元件老化與潛勢危害(Invisible):洪水與地震，然後根據各風險因子分析計算風險成本，再加入用路人風險成本。本計畫主要包含 4 個步驟。以下按照研究步驟依序論述，如圖 3.1 所示。

步驟一：橋梁風險評估模式

本階段首先針對本土橋梁進行風險辨識，篩選風險因子，其包括元件老化、洪水、地震等，發展橋梁風險評估模式，並將用路人風險成本納入橋梁風險評估模式，模式中求得之橋梁維護風險期望值(風險成本)定義為橋梁綜合能力指標，並按此一指標，作為求解群橋生命週期最適維護時間及最小總成本之依據。

步驟二：橋梁維護機率

本階段將評估各風險因子之維護發生機率。元件老化與洪水部分，將依據不同橋梁類型，蒐集 TBMS 歷史檢測紀錄，迴歸找出 CI 及 SSI 下降趨勢，再應用蒙地卡羅模擬因元件老化、洪水沖刷造成橋梁需維護或重建之機率。地震則是以地震潛勢機率模型計算求得各橋梁所在地之 PGA。再考量橋梁現有耐震強度(Ay,Ac)，評估橋梁地震損

失進而求得橋梁地震損傷指標，並以蒙地卡羅模擬找出橋梁地震損傷需維護及重建之機率。

步驟三：橋梁風險影響程度

將橋梁檢測歷史紀錄與維護補強案例庫連結，可建置不同檢測結果(CI 及 SSI)對應補強成本歷史案例庫，然後應用人工智慧推論模式，找出案例資料中輸入值(CI 及 SSI)與輸出值維護成本之映射關係，再依據迴歸橋梁檢測資料所得之橋梁損壞下降趨勢，求得不同年限下元件老化程度(CI)與洪水沖刷程度(SSI)值，作為前述 AI 輸入值，以推論求得可能維護成本。地震部分擬參考阪神地震文獻建議使用不同損傷超越機率所對應之風險成本計算求得。

步驟四：群橋維護成本最佳化

本部分流程將分成三部分完成，分別為橋梁用路人成本評估 E(UC)、生物共生演算法最佳化搜尋與群橋生命週期維護成本最佳化成果。用路人成本評估橋梁維護或是車輛改道額外增加之成本損失。另外，生物共生演算法最佳化搜尋分別計算不同維護方案之風險影響程度，找出符合預算限制下，最低生命週期成本 E_{GT}(Cost)之維護時機組合。最後，群橋生命週期維護成本最佳化成果可提供橋管單位從生命週期成本(LCC)的角度，規劃群橋最佳維護時機及成本，在有限維護經費條件下達到最佳經濟效益。

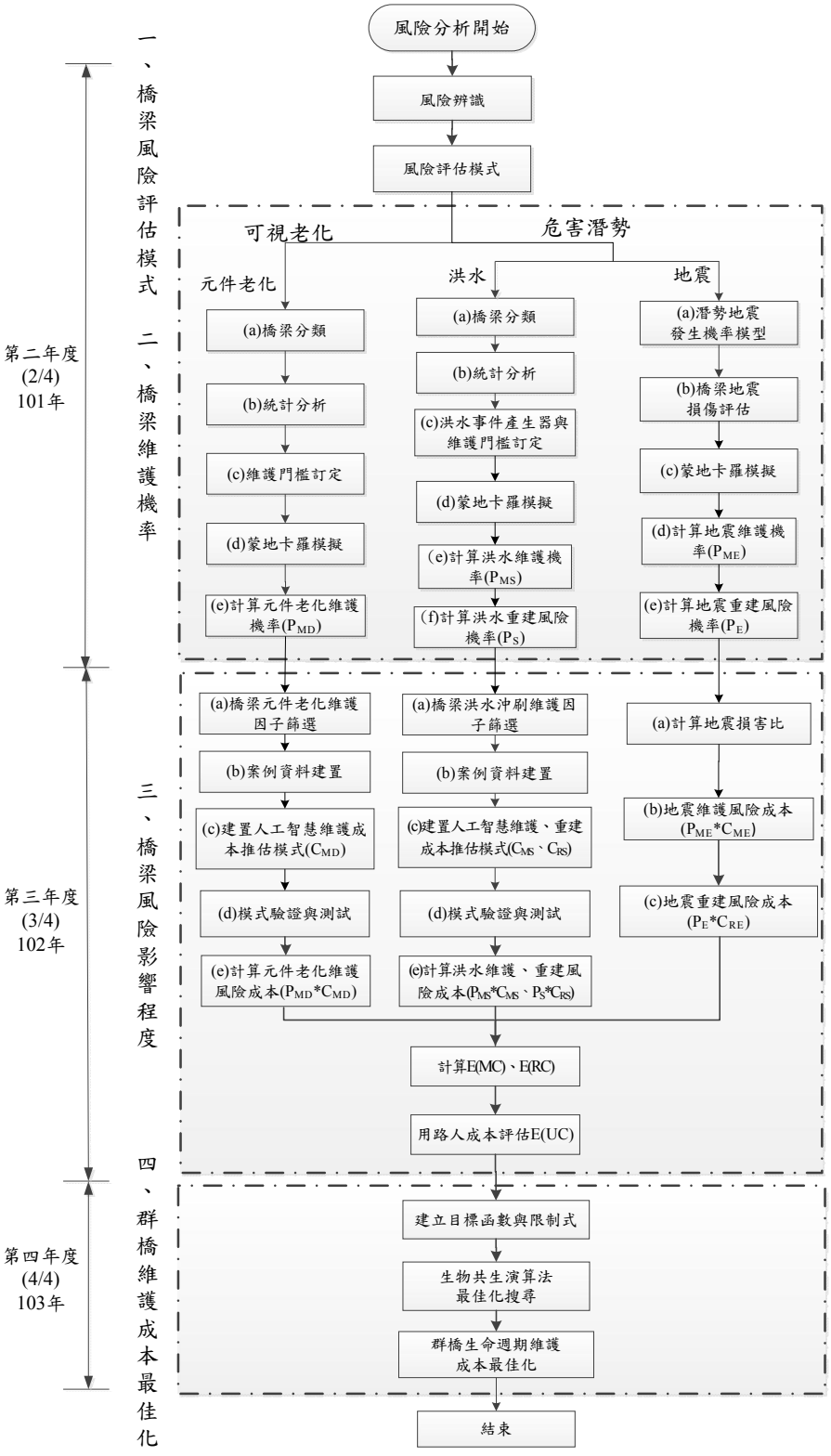


圖 3.1 橋梁風險評估及維護策略模式建置流程

3.2 橋梁風險評估模式

本階段首先針對本土橋梁進行風險辨識，分析確認橋梁可能遭受的風險類別，然後利用影響圖篩選各類風險之風險因子，建置一橋梁風險評估模式，計算求得橋梁綜合能力指標。

3.2.1 風險辨識

本計畫參考相關文獻[1]，應用影響圖初步確認橋梁之風險因子包括：承載及使用、元件老化、氣候、地震、洪水等。其中承載及使用屬於橋梁元件老化所造成之風險，故以元件老化代表作為其風險因子，加上自然環境之潛勢危害風險因子洪水及地震，共歸納成三項風險因子。再依此進一步辨識確認造成橋梁損傷及破壞之影響原因，如圖 3.2 所示。

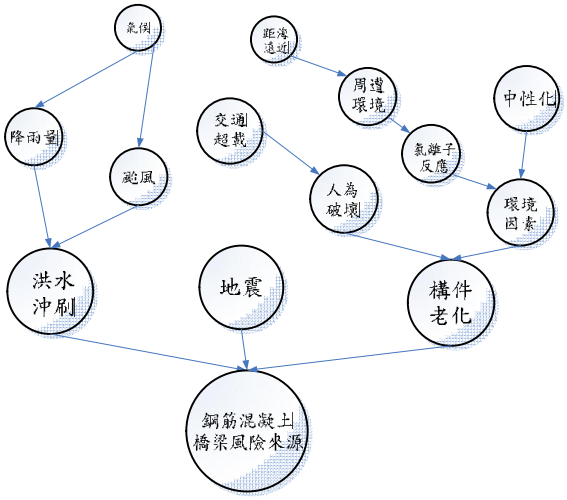


圖 3.2 橋梁風險因子影響圖

3.2.2 風險評估模式

本計畫風險類別分為可視危害(Visible)與潛勢危害(Invisible)二部份，如圖 3.3 所示。其中可視危害主要考量元件老化風險因子，其風險指標為平時 D.E.R.&U.檢測可得之狀況指標(CI，Condition Index)，風險評估採用蒙地卡羅模擬求得元件老化維護之發生機率。而潛勢危害則包括洪水沖刷與地震二因子，洪水沖刷部分採用 SSI 值作為風險指

標，在風險評估方面則採用蒙地卡羅模擬不同重現期之洪水事件，以求得橋梁因洪水造成損傷之機率。地震風險指標使用考慮材料劣化影響之結構耐震容量(Ay 及 Ac)，同樣應用蒙地卡羅模擬生命週期地震事件，再結合受損結構性能修正模型來評估因地震累積損傷影響之風險機率。風險影響程度將維護、重建風險成本和用路人成本損失納入。

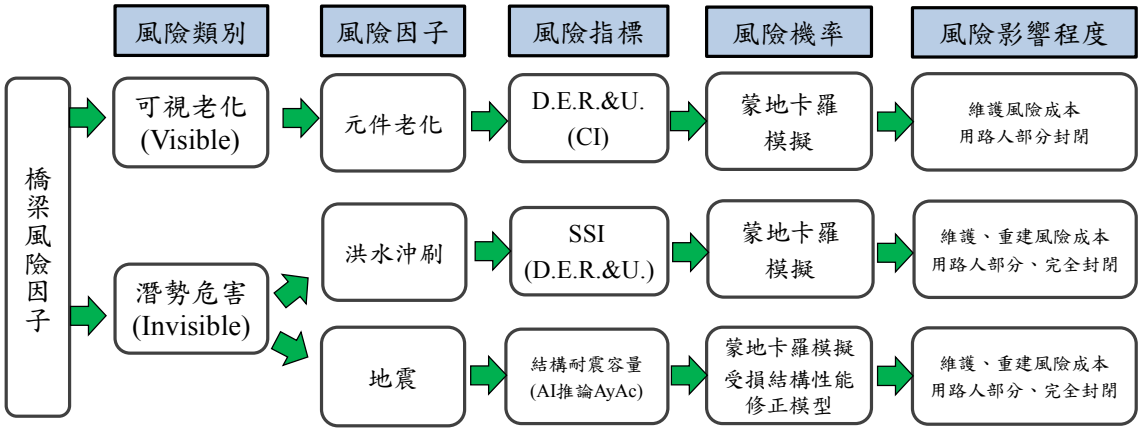


圖 3.3 橋梁風險評估模式

3.2.3 橋梁綜合能力指標

在群橋維護策略最佳化問題中，除需考量因老化、洪水、地震而造成之維護風險成本 E(MC)及重建風險成本 E(RC)外，亦須將用路人成本之損失 E(UC)納入。本計畫根據風險評估模式之因子，以風險期望值之概念，建立橋梁維護之風險期望值 E_B(Cost)，如公式 3.1。

$$E_{Bj}(Cost)=\overbrace{E(MC)}^{\text{維護成本}}+\overbrace{E(RC)}^{\text{重建成本}}+\overbrace{E(UC)}^{\text{用路人成本}} \quad \text{..... (3.1)}$$

其中：

E_{Bij}(Cost)：Bridges Expected Cost，為第 i 年第 j 座橋梁之風險期望成本，其中，j 為同一管理單位之橋梁。

E(MC):Maintenance Cost，為風險下維護成本。

E(RC): Rebuilding Cost，為橋梁在未維護狀態下，因地震或洪水損害造成之重建風險成本。

E(UC)：User Cost，因災害發生，造成橋梁中斷完全改道或是維護部分改道之用路人成本。

橋梁維護風險成本 E(MC)部分由可視、不可視之機率與成本組成，如公式 3.2。

$$E(MC) = \overbrace{\left(P_{MD_{ij}} \times C_{MD_{ij}}\right)}^{\text{Visible}} + \overbrace{P_{MS_{ij}} \times C_{MS_{ij}} + P_{ME_{ij}} \times C_{ME_{ij}}}^{\text{Invisible}} \quad \text{.....(3.2)}$$

3.2 式中:

i 某段期間橋梁的使用年限，本計畫 i=1~20 年

j:為同一橋管單位之第 j 座橋梁

P_{MD}:元件老化造成橋梁損壞之維護機率值(Maintenance Probability Caused by Deterioration)。

P_{MS}：洪水造成橋梁損壞之維護機率值(Maintenance Probability Caused by Scour)。

P_{ME}：地震造成橋梁損壞之維護機率值(Maintenance Probability Caused by Earthquake)。

C_{MD} :元件老化造成橋梁損壞之維護成本(Maintenance Cost of Deterioration)。

C_{MS}：洪水造成橋梁損壞之維護成本(Maintenance Cost of Scour)。

C_{ME}：地震造成橋梁損壞之維護成本(Maintenance Cost of Earthquake)。

重建風險成本 E(RC)可由公式 3.3 求得。

$$E(RC) = \left(P_{S_{ij}} \times C_{RS_{ij}} + P_{E_{ij}} \times C_{RE_{ij}}\right) \quad \text{..... (3.3)}$$

3.3 式中：

i 某段期間橋梁的使用年限，本計畫 i=1~20 年

j:為同一橋管單位之第 j 座橋梁

P_S：洪水造成斷橋之風險機率值 (Bridge Broken Probability of Scour)。

P_E：地震造成斷橋之風險機率值(Bridge Broken Probability of Earthquake)。

C_{RS}：因洪水造成斷橋之重建成本(Rebuilding Cost of Scour)。

C_{RE}：因地震造成斷橋之重建成本 (Rebuilding Cost of Earthquake)。

在群橋維護成本最佳化中，將計算斷橋影響下橋梁完全封閉之用路人成本 C_S(考慮洪水與地震)，與橋梁維護造成部分封閉之用路人成本(考慮老化、洪水與地震)。其中，因老化造成斷橋機率數值較小故不考慮，E(UC)計算方式如公式 3.4 所示。

$$E(UC) = \overbrace{\left(P_{S_{ij}} \times C_{U_{ij}} + P_{E_{ij}} \times C_{U_{ij}}\right)}^{\text{完全封閉}} + \overbrace{\left(P_{MD_{ij}} \times C_{U_{ij}}' + P_{MS_{ij}} \times C_{U_{ij}}' + P_{ME_{ij}} \times C_{U_{ij}}'\right)}^{\text{部分封閉}} \quad \text{..... (3.4)}$$

3.4 式中：

i 某段期間橋梁的使用年限，本計畫 i=1~20 年

j：為同一橋管單位之第 j 座橋梁

C_U：橋梁完全封閉之用路人成本(User Cost of Entire Closed Bridge)。

C_U':橋梁部分封閉之用路人成本(User Cost of Partial Closed Bridge)。

P_S：洪水造成斷橋之風險機率值(Bridge Broken Probability of Scour)。

P_E：地震造成斷橋之風險機率值(Bridge Broken Probability of Earthquake)。

P_{MD}：元件老化造成橋梁損壞之維護機率值(Maintenance Probability Caused by Deterioration)。

P_{MS}：洪水造成橋梁損壞之維護機率值(Maintenance Probability Caused by Scour)。

P_{ME}：地震造成橋梁損壞之維護機率值(Maintenance Probability Caused by Earthquake)。

3.3 橋梁維護機率

根據前一階段所確認之風險因子，分析各風險因子造成橋梁損壞需維護及重建的機率。在元件老化與洪水部分，依據不同橋梁類型，蒐集 TBMS 歷史檢測紀錄，迴歸找出 CI 及 SSI 下降趨勢，再應用蒙地卡羅模擬因元件老化、沖刷造成橋梁需維護或重建之機率;地震則是以地震潛勢機率模型求得各橋梁所在地之 PGA。再考量橋梁現有耐震強度(Ay,Ac)，求得橋梁地震損傷指標，並以蒙地卡羅模擬找出橋梁地震損傷需維護及重建之機率。

3.3.1 橋梁維護機率-元件老化

因為元件老化隱含了許多不確定性，本計畫以統計的概念找出同類型橋梁不同維護時間間隔下狀態指標（CI）之下降平均值與標準差，並採用蒙地卡羅模擬求得元件老化維護之發生機率，其步驟如下：

1.橋梁分類：

將同類型(如:梁式橋)具相同老化狀況橋梁視為同組橋梁(如：距海遠近、交通流量、結構型式等)，並假設同類型同組之橋梁老化狀況類似。

2.統計分析：

根據 TBMS 檢測歷史資料，利用迴歸分析找出每一座橋梁橋齡與 CI 之關係式，求得該橋 CI 值下降趨勢，亦即斜率。並計算同類型同組之橋梁 CI 下降平均值與標準差

3.維護門檻訂定：

透過文獻或歷史資料找尋維護 CI 門檻值，依據以往 TBMS 資料庫中歷史維護記錄，本計畫初步設定門檻範圍為 83。

4.蒙地卡羅模擬：

將各橋梁類型之 CI 下降平均值與標準差作為蒙地卡羅模擬之輸入，模擬 10000 次，找出橋梁於未來各時間點 CI 小於門檻值之累計次數，除以模擬次數即為橋梁因元件老化所造成之維護機率。

5.計算元件老化維護機率(PMD):

設定 CI 門檻值，並以蒙地卡羅模擬，統計橋梁 CI 值低於門檻值的次數，進而求得元件老化維護機率。

3.3.2 橋梁維護機率-洪水

洪水狀況隱含了相當多的不確定性，在橋梁未來生命週期中可能會發生不同大小的洪水事件。本計畫藉由 TBMS 歷年 SSI 調查記錄與水利署水位站監測記錄，統計分析找出同一河系各年度 SSI 下降值與當年對應之洪水重現期之關連性。並導入可靠度的觀念，以蒙地卡羅模擬橋梁受洪水影響而需維護或重建之機率，其步驟如下：

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：

根據 TBMS 歷年 SSI 調查記錄與水利署水位站監測資料，找出同一河系橋梁遭遇不同洪水流量時 SSI 值所下降分數，並依此洪水流量所對應之洪水重現期資料(水文資訊網，2012)，統計分析找出 SSI 下降值與所對應之洪水重現期之關係。

3.洪水事件產生器與維護門檻訂定：

本計畫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。並根據各河系橋梁的歷史維護紀錄，以各類型橋梁最後一次維護時 SSI 值為建議維護門檻。

4.蒙地卡羅模擬:

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 SSI 值及維護發生機率。

5.計算洪水維護機率(P_{MS}):

設定 SSI 門檻值，並以蒙地卡羅模擬，統計橋梁 SSI 值低於門檻值的次數，故可得洪水維護機率機率。

6.計算洪水重建風險機率(P_S):

設定門檻值，並以蒙地卡羅模擬，統計橋梁 SSI 值低於門檻值的次數，故可得洪水重建風險機率。

3.3.3 橋梁維護機率-地震

此階段主要評估橋梁在間隔△t 年內發生地震造成之橋梁風險，依順序應用潛勢地震發生機率模型與橋梁地震損傷評估方式、蒙地卡羅模擬評估橋梁地震維護機率。相關文獻應用後續將介紹。

1.潛勢地震發生機率模型:

本部分主要採用相關文獻之數學機率模型，建立臺灣地區一般性震源之潛勢地震發生機率模型，並依機率模型推估未來臺灣之地震發生次數與機率。

2.橋梁地震損傷評估:

本節採用相關文獻所建置之側推模式，並利用武田模式(Takeda model)[6]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未來可能遭遇之地震，計算其地震損傷指標。

3.蒙地卡羅模擬:

本計畫依據蒙地卡羅模擬地震發生序列,並假設橋梁在維護間隔

△t 年，未來因地震所造成的累積損傷。設定模擬次數，依橋梁累積損傷計算橋梁地震破壞機率。

4.計算地震維護機率(P_{ME}):

根據損傷指標($D_{P\&A}$)範圍將損壞等級分為五個等級，然後應用蒙地卡羅模擬結果，繪製使用年與不同損壞分級之維護機率(P_{ME})。

5.計算地震重建風險機率(P_E):

根據前一階段所求得之完全崩塌機率(P_{ME})曲線，即為橋梁在不同使用年限時，因地震造成斷橋的機率曲線，可依此進而求得地震造成重建之風險機率。

3.4 橋梁風險影響程度

本計畫將風險因子之風險機率與維護成本相乘，視為風險影響程度。橋梁風險影響程度之大小決定於維護機率與維護成本。對於橋梁風險影響程度大的橋梁，如能在適當的時機點維護，可在有限的成本下提升橋梁的壽命。

有鑑於此，本計畫分別建立檢測歷史紀錄、元件老化與洪水橋梁維護案例資料，藉由檢測歷史紀錄與維護案例資料之連結，可得不同損壞狀態下(CI 及 SSI)所對應之維護成本。然後應用人工智慧推論模式，以 CI 及 SSI 等因子為輸入，維護成本為輸出，建立橋梁老化、耐洪維護成本推估模式，以預測未來橋梁分別因老化與洪水維護所需花費的成本(C_{MD}&C_{MS})。地震部分則參考日本阪神地震之文獻，依據前一階段所求得橋梁各損傷指標發生機率，先乘上此指標所對應損害分級之損害比，加總後再乘上興建成本即為橋梁因地震風險下所需成本。用路人成本部分利用重要性影響因子建立用路人成本評估模式，蒐集各橋梁之參數資料，經由計算求得。最後橋梁因老化與洪水因素所需花費的維護成本(C_{MD}&C_{MS})分別與因老化與洪水維護機率(P_{MD}&P_{MS})相乘，再加上橋梁因地震風險下所需維護成本，即可得到橋梁風險下維

護風險成本 E(MC)(式 3.2)。而洪水與地震橋梁重建成本與橋梁重建機率相乘即可得到橋梁在損害風險下之重建風險成本 E(RC)(式 3.3)。另外將各風險因子維護機率乘上部分封閉用路人成本，加上不可視因子重建機率乘上完全封閉用路人成本即可得到用路人成本 E(UC) (式 3.4)。

3.4.1 橋梁元件老化維護成本(C_{MD})

1.橋梁元件老化維護因子篩選:

公路總局 TBMS 橋梁屬性資料欄位總共有個 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成本之相關性。非跨河橋梁其損壞以老化為主，因此本計畫將以 TBMS 系統中非跨河橋梁維修紀錄，利用 SPSS 分析評估因子與維修成本相關性，擬挑選顯著相關參數作為模式因子。

2.案例資料建置:

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。

3.建置人工智慧維護成本推估模式(C_{MD}):

本計畫擬使用演化式支持向量機推論模式 ESIM，以前一階段所建置案例資料庫中之橋梁基本資料及檢測結果(CI)等值作為模式輸入值，利用 ESIM 進行案例資料學習與訓練，找出歷史案例中輸入值與輸出值維護成本之映射關係，據此推論不同破壞程度(CI)下，所需之維護成本。

4.模式驗證與測試:

為求模式之準確性以及廣泛應用性，本計畫擬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。

5.計算元件老化維護風險成本(P_{MD}*C_{MD}):

本步驟將各維護間隔△t 之維護機率 P_{MD} 與維護成本 C_{MD} 相乘，即可求得元件老化維護風險成本。

3.4.2 橋梁洪水沖刷維護與重建成本(C_{MS}、C_{RS})

1.橋梁洪水沖刷維護因子篩選

本階段同樣利用 SPSS 分析評估因子與維護成本相關性，從原始 TBMS 橋梁屬性資料 107 欄位中，挑選出顯著相關參數作為模式因子。

2.案例資料建置:

本階段根據前一步驟所確認之洪水維護成本影響因子，收集跨河橋維護案例，建置維護案例資料庫。

3.建置人工智慧維護、重建成本推估模式(C_{MS}、C_{RS})

本階段同樣應用 ESIM 作為人工智慧橋梁維護成本推估模式，據此推論未來洪水沖刷不同破壞程度下，所需之維護成本。

4.模式驗證與測試

本階段同樣採用人工智慧常用之十組交叉驗證，進行模式之驗證與測試，以確保洪水維護成本推論之正確性。

5.計算洪水維護、重建風險成本(P_{MS}*C_{MS}、P_S*C_{RS})

本步驟將各維護間隔△t 之 P_{MS} 及 P_S 分別與 C_{MS} 及 C_{RS} 相乘，即可分別求得洪水維護、重建風險成本。

3.4.3 橋梁地震維護與重建成本(C_{ME}、C_{RE})

1.計算地震損害比

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，本部分應用損害比。

2.地震維護風險成本(P_{ME}*C_{ME})

本階段根據橋梁各維護間隔△t 維護機率所求得各地震損傷分級之發生機率(P_{ME})，將地震造成輕微、中度、重度損傷分級之機率乘上損害分級之損害比(D_j)，加總後乘上興建成本，即可求得橋梁在不同時間間隔下之地震維護風險成本。

3.地震重建風險成本(P_E*C_{RE}):

根據各維護間隔△t 橋梁維護機率所求得之完全崩塌機率(P_{ME})乘上興建成本，即可求得橋梁因地震造成重建之風險成本。

3.4.4 計算E(MC)、E(RC)

本步驟將計算元件老化、洪水、地震而造成之維護風險成本 E(MC)及重建風險成本 E(RC)。E(MC)計算之方法為加總各風險因子之維護風險成本，如公式 3.2。另外，E(RC)計算之方法為加總洪水與地震之重建風險成本，如公式 3.3 所示。

3.4.5 用路人成本評估E(UC)

本階段將蒐集重要性非直接成本因子，並彙整相關用路人成本文獻，並經由篩選將重要性非直接成本因子量化成用路人成本，待確認用路人成本之量化公式後，本計畫將收集用路人成本公式之相關資料與各橋梁之統計數據，如替代道路長度與車流量等，概算出橋梁部分封閉與完全封閉狀況下所額外增加之成本。

3.5 群橋維護成本最佳化

本階段將考量公路橋梁管理單位橋梁維護管理之現況，在維護預算有限情形下，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，因此需在維護預算有限的情況下，找出群橋維護策略之最適方案。

於是本步驟將分成三部分完成，建立目標函數與限制式、生物共生演算法最佳化搜尋與群橋生命週期維護成本最佳化成果。

3.5.1 建立目標函數與限制式

本階段將延續風險影響程度之結果，利用相關公式介紹本模式之目標函數-最小群橋風險期望成本 E_{GT}(Cost)與限制式-滿足各年度之維護預算限制。

3.5.2 生物共生演算法最佳化搜尋

在橋梁生命週期中，不同維護時機之損壞機率與維護成本不同，其組合眾多。若以傳統試誤法等方式求解，將無法在短時間內找到答案，所以本計畫應用生物共生演算法，分別計算不同維護時機點之風險影響程度與所需維護成本，進而找出最低符合預算限制與生命週期風險成本最小之維護策略組合。

3.5.3 群橋生命週期維護成本最佳化

本計畫考量公路橋梁管理單位在年度維護預算有限情形下，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，橋梁維護的優先順序、經費預算的分配多寡及各橋梁維護所需成本的估計均是各工程處在年度維護經費預算分配時，所需面臨的問題。再者，從生命週期的角度，分析各橋梁之維護時機與成本，使得群橋生命週期風險總成本最低。如此，橋梁管理單位即可依此規劃長程群橋之維護策略，以便將有限資源做最有效運用。

最後，本計畫可以得到如圖 3.4 之結果，根據橋梁維護年限與維護經費之設定，找出橋梁生命週期之群橋維護策略。如圖 3.4 所示：

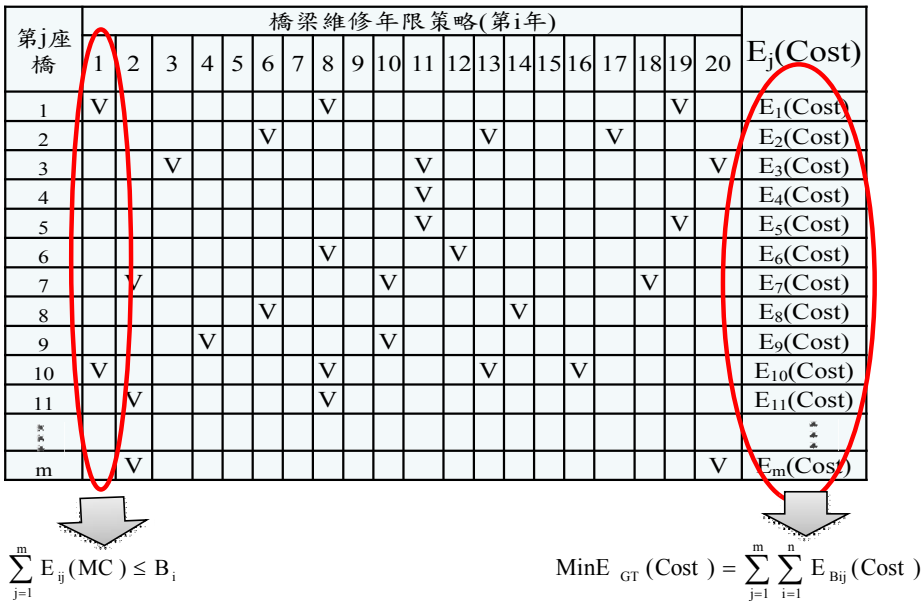


圖 3.4 群橋生命週期維護策略

1.假設在某次最佳化過程，以第 1 年為例，在維護策略隨機組合中，維護第 1 座及第 10 座橋梁，且滿足橋管單位年度預算。

2.在下一年度維護時，因第 1 座及第 10 座橋梁已進行維護，所以風險成本 E(Cost)將會降低。

3.最後在橋梁的生命週期中，可根據各年度之經費限制，求得各種 E_{GT}(Cost)組合，最佳化搜尋之結果會找出最小之群橋生命週期風險成本 E_{GT}(Cost) 與其各年度維護策略。

第四章　橋梁維護機率

前章節風險辨識部分已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 值，透過蒙地卡羅模擬求得維護機率。潛勢危害部分可分為地震及洪水沖刷為主要原因，洪水沖刷部分採用現行 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。地震則是以地震潛勢機率模型求得各橋梁所在地之 PGA，再考量橋梁現有耐震強度(Ay,Ac)，求得橋梁地震損傷指標，再以蒙地卡羅模擬找出橋梁地震損傷需維護及重建之風險機率。橋梁維護與重建機率可分成五個部分(P_{MD}、P_{ME}、P_{MS}、P_S、P_E)，依元件老化、洪水、地震順序介紹，按模擬步驟分別求得各橋梁 1~20 年之維護機率。

本章節將分析各風險因子對橋梁整體造成維護之發生機率，以利後續計算橋梁風險影響程度，本步驟計算流程如圖 4.1。

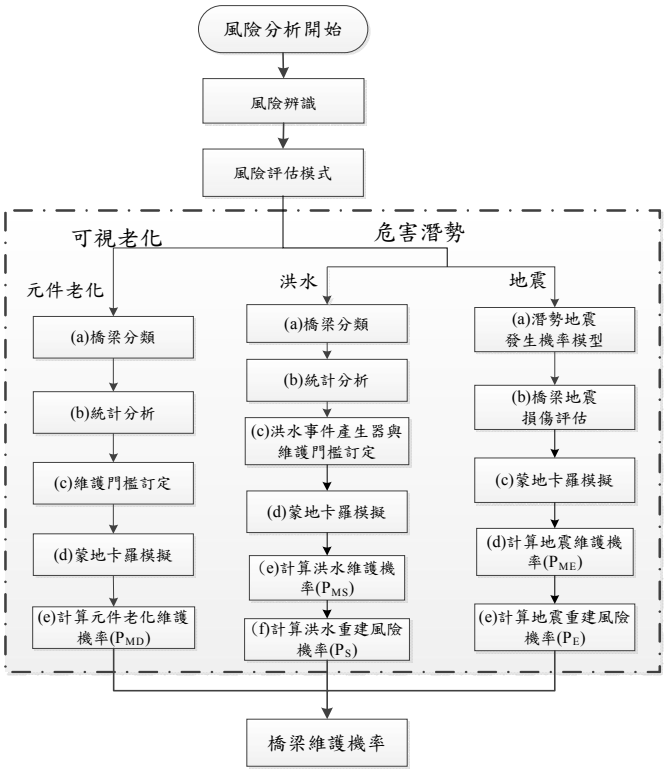


圖 4.1 橋梁維護機率評估流程圖

4.1 橋梁元件老化維護機率

可視老化中元件之狀況，會隨著時間而變化，因此元件老化隱含了許多不確定性，本計畫以統計的概念找出同類型橋梁不同維護時間間隔下狀態指標 CI 值之機率密度函數，風險評估部分採用蒙地卡羅模擬求得元件老化維護之發生機率，其步驟如下，詳細步驟說明如下。

4.1.1 橋梁分類(依橋型、交通量、與海岸距離)

本計畫收集整理臺灣橋梁管理系統中歷年調查結果，將影響可視老化之因素如結構型式、距海遠近、交通流量等因子作為分組之依據，並假設同一類型橋梁其元件老化狀況類似，其結果如表 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

本計畫將以梁式橋為例，進行步驟說明，經過資料整理後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	300~1000	1000~3000	>3000
<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 TBMS 檢測歷史資料，利用迴歸分析找出每一座橋梁橋齡與 CI 之關係式，求得該橋 CI 值下降趨勢，亦即斜率。並計算同類型同組之橋梁 CI 下降平均值與標準差。本計畫將以梁式橋第 1 組中之復興三橋為例，將橋齡設為 X 軸、CI 值設為 Y 軸，進行迴歸分析，求得該橋之 CI 值下降趨勢，亦即斜率，如下圖 4.2 所示。

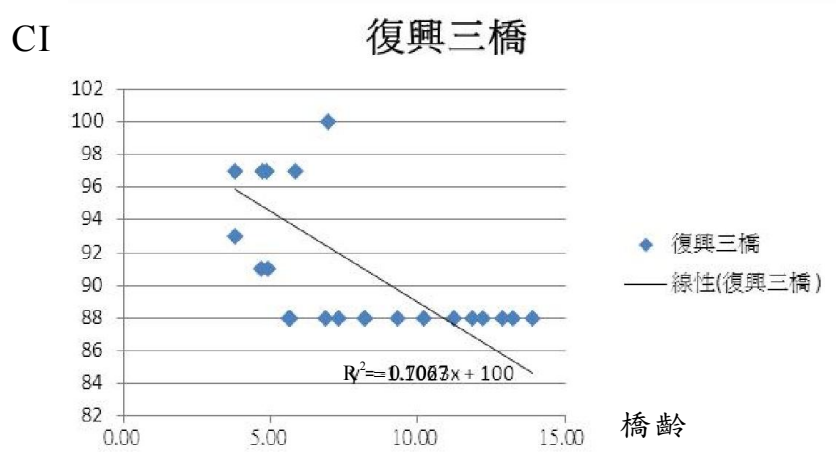


圖 4.2 以梁式橋-復興三橋為例之 CI 下降趨勢

同理迴歸求得其餘 126 座橋梁之 CI 下降趨勢(斜率)，並以同組橋梁依距海遠近及車流量進行分類，再計算該組 127 座橋梁斜率之平均值與變異數為 0.23 及 0.047，如下表 4-3。再依此求得梁式橋 CI 值下降趨勢。

表 4-3 相關參數表(以梁式橋為例)

橋型	組別	距海遠近(m)	車流量(次/日)	資料比數	下降平均值	下降變異數
梁式橋	1	<300	<6000	127	0.230	0.047
	2	<300	6000~12000	5	0.056	0.001
	3	<300	>12000	0	0.405	0.000
	4	300~1000	<6000	75	0.229	0.094
	5	300~1000	6000~12000	15	0.060	0.001
	6	300~1000	>12000	0	0.405	0.000
	7	1000~3000	<6000	151	0.201	0.096
	8	1000~3000	6000~12000	3	0.048	0.001
	9	1000~3000	>12000	0	0.405	0.000
	10	>3000	<6000	798	0.275	0.552
	11	>3000	6000~12000	39	0.242	0.053
	12	>3000	>12000	10	0.284	0.048

4.1.3 維護門檻訂定-元件老化

本計畫透過文獻與歷史資料擬定維護門檻 CI 值，依據以往 TBMS 資料庫中歷史維護記錄，以各類型橋梁最後一次維護時 CI 為建議維護門檻，經過統計各橋梁的維護時機點皆不同，因此本計畫初步設定以 CI 值 83 分作為維護門檻值搜尋範圍，以梁式橋為例如圖 4.3。

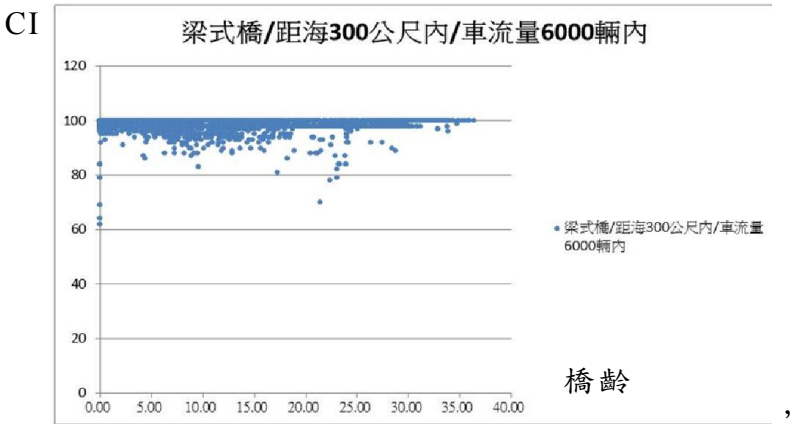


圖 4.3 以距海 300 公尺內車流量 6,000 輛內(梁式橋)為例

4.1.4蒙地卡羅模擬-元件老化

以某一座橋梁為例，該橋為梁式橋，分析其距海遠近與車流量應為第 1 組，如此即以表 4-3 第一組之 CI 下降趨勢平均值與變異數，作為蒙地卡羅模擬之輸入 (如圖 4.4 所示)，模擬 10,000 次，找出橋梁於未來各時間點 CI 小於門檻值 83 分之累計次數，除以模擬次數即為橋梁因可視危害所造成之維護機率。

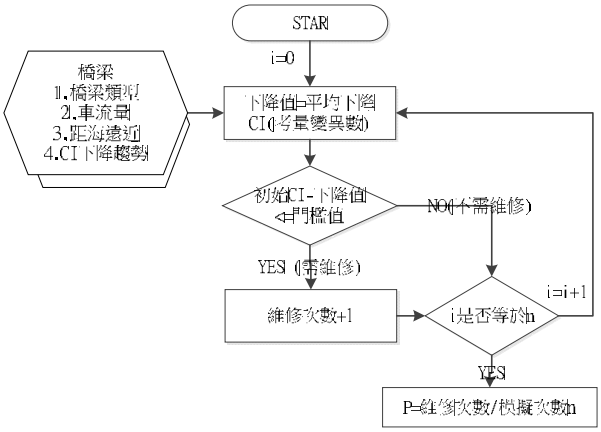


圖 4.4 可視危害造成維護機率蒙地卡羅計算流程圖

4.1.5 計算元件老化維護機率(P_{MD})

以門檻值 83 分為例，在 10,000 次蒙地卡羅模擬中，總計有 1700 次橋梁的 CI 值低於 83 分，故 P_{MD} =1,700/10,000=17%。表 4-4 為橋梁 ID 編號 B04-0030-217A 至 B04-0030-220A 之維護機率結果。

表 4-4 元件老化維護機率結果(節錄)

單位:%

橋梁 ID / 橋齡	B04-0030-217A	B04-0030-217B	B04-0030-217C	B04-0030-217D	B04-0030-220A
$P_{MD}1$	0	0	0	0	0
$P_{MD}2$	0	0	0	0	0
$P_{MD}3$	0	0	0	0	0
$P_{MD}4$	0	0	0	0	0
$P_{MD}5$	0	0	0	0	0
$P_{MD}6$	0	0	0	0	0
$P_{MD}7$	0	0	0	0	0
$P_{MD}8$	0	0	0	0	0
$P_{MD}9$	0	0	0	0	0
$P_{MD}10$	17	0	0	2.3	1.7
$P_{MD}11$	36.8	0	0	39.1	37.4
$P_{MD}12$	97	0	0	97.1	97.1
$P_{MD}13$	100	0	0	100	100
$P_{MD}14$	100	0	0	100	100
$P_{MD}15$	100	0	0	100	100
$P_{MD}16$	100	0	0	100	100
$P_{MD}17$	100	0	0	100	100
$P_{MD}18$	100	0	0	100	100
$P_{MD}19$	100	0	0	100	100
$P_{MD}20$	100	0	0	100	100

4.2 橋梁洪水維護與重建機率

洪水狀況隱含了相當多的不確定性，在橋梁未來生命週期中可能會發生不同大小的洪水事件。本計畫藉由 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之關連性。並導入可靠度的觀念，以蒙地卡羅模擬橋梁受洪水影響而需維護或重建之機率，其步驟如下：

4.2.1 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，故本計畫依橋梁所屬流域分群進行評估；本計畫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 4.5 所示。

圖 4.5 臺灣主要河川分布圖(水利署)

4.2.2 統計分析(SSI)

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，找出橋梁遭遇不同洪水流量時 SSI 所下降分數，並依此洪水流量所對應之洪水重現期 (水文資訊網，2012)，統計分析找出 SSI 下降值與所對應之洪水重現期之關係。結果如表 4-5 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。

表 4-5 臺灣主要河系洪水重現期對應 SSI 指標下降表

洪水重現期 / SSI 下降數 / 台灣主要河系	1年	2年	5年	10年	20年	50年	100年	200年
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

4.2.3 洪水事件產生器與維護門檻訂定

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，圖 4.6 與圖 4.7 為 50 年與 100 年洪水重現期強度發生次數所對應 SSI 值下降曲線示意圖，如發生的洪水較小下降趨勢較為和緩。本計畫根據各河系橋梁的歷史維護紀錄，以各類型橋梁最後一次維護時 SSI 值為維護建議門檻。本計畫初步訂定 SSI 值於 83 分為維護門檻，未來相關管理單位可根據需求調整此門檻值，以符合現況。

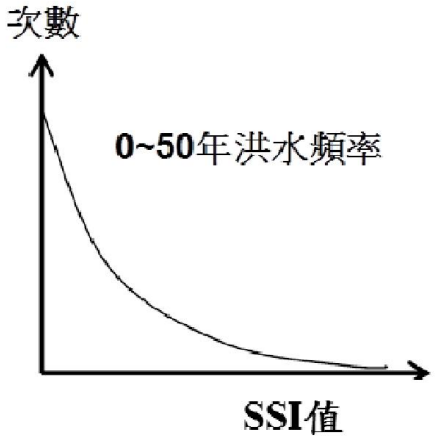


圖 4.6 發生 50 年洪水時對應 SSI 指標下降

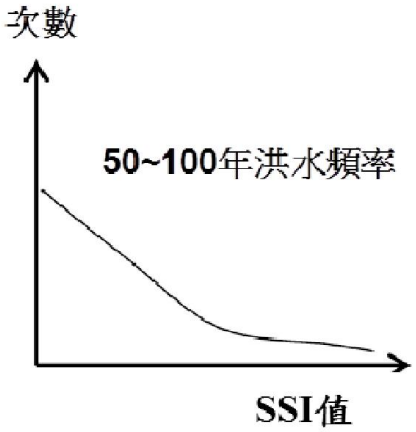


圖 4.7 發生 100 年洪水時對應 SSI 指標下降

4.2.4 蒙地卡羅模擬-洪水

以某一座橋梁為例，該橋位於淡水河，如此即以表 4-5 淡水河之 SSI 值下降平均值與變異數作為蒙地卡羅之輸入，此階段使用蒙地卡羅模擬橋梁未來 100 年重現期洪水可能發生事件，計算流程如圖 4.8 所示，模擬計算 10000 次，依 SSI 下降趨勢曲線計算可能之 SSI 值，找出橋梁因洪水沖刷損壞而需維護機率。

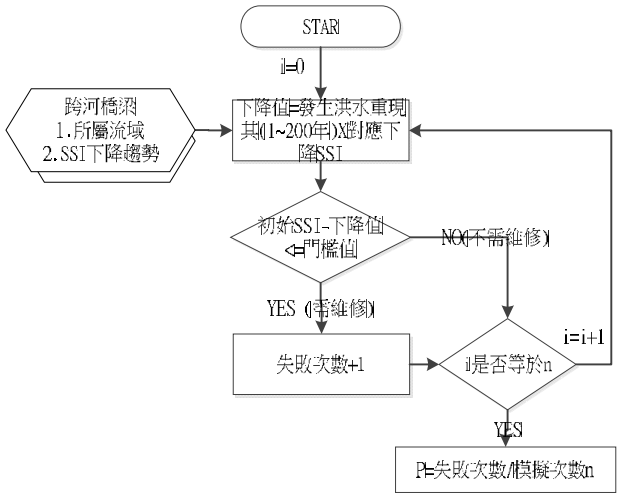


圖 4.8 洪水造成維護機率蒙地卡羅計算流程圖

4.2.5 計算洪水維護機率(P_{MS})

以門檻值 83 分為例，在 10000 次蒙地卡羅模擬中，如總計有 150 次橋梁的 SSI 值低於 83 分，則 P_{MS} =150/10000=1.5%。表 4-6 為橋梁 ID 編號 B04-0030-217A 至 B04-0030-220A 洪水維護機率。

表 4-6 洪水維護機率結果(節錄)

單位:%

橋梁 ID / 橋齡	B04-0030-217A	B04-0030-217B	B04-0030-217C	B04-0030-217D	B04-0030-220A
$P_{MS}1$	0	0	0	6.3	0
$P_{MS}2$	0	0	0	5.7	0
$P_{MS}3$	0	0	0	5.7	0
$P_{MS}4$	0	0	0	5.5	0
$P_{MS}5$	0	0	0	5.6	0
$P_{MS}6$	0	0	0	5	0
$P_{MS}7$	0	0	0	18.5	0
. . .					
$P_{MS}13$	0.4	0.4	0.5	18.5	0.8
$P_{MS}14$	0.5	0.7	0.4	19.6	0.6
$P_{MS}15$	0.7	0.3	0.4	20.5	0.2
$P_{MS}16$	0.7	1	0.6	21.1	0.4
$P_{MS}17$	3	1.8	1.9	20.2	2.1
$P_{MS}18$	1.5	1.6	2.2	22.6	2.8
$P_{MS}19$	1.8	1.6	1.9	19.4	1.5
$P_{MS}20$	1.6	2	1.6	21.5	1.5

4.2.6 計算洪水重建機率(P_S)

國內橋梁興建時耐洪設計標準為 100~200 年，本計畫以以重現期 150 年(取平均)作為洪水耐洪設計標準，本階段為求得橋梁因洪水而中斷之機率，故擷取蒙地卡羅模擬中，洪水事件中超過 150 年重現期之機率。例如，維護生命週期 20 年之例中，進行 10000 次蒙地卡羅模擬，期間共出現 150 年重現期之洪水造成 2 次橋梁中斷，則 P_S=2/10000=0.02%。表 4-7 為橋梁 ID 編號 B04-0030-217A 至 B04-0030-220A 洪水重建機率結果。

表 4-7 洪水重建機率結果(節錄)

單位:%

橋梁 ID / 橋齡	B04-0030-217A	B04-0030-217B	B04-0030-217C	B04-0030-217D	B04-0030-220A
P_{S1}	0	0	0	0.04	0
P_{S2}	0	0	0	0.08	0
P_{S3}	0	0	0	0.11	0
P_{S4}	0	0	0	0.15	0
P_{S5}	0	0	0	0.19	0
P_{S6}	0	0	0	0.20	0
P_{S7}	0	0	0	0.86	0
P_{S8}	0	0	0	0.90	0
P_{S9}	0.01	0.02	0.02	1.18	0.04
P_{S10}	0.04	0.03	0.05	1.37	0.01
P_{S11}	0.06	0.04	0.04	1.50	0.06
P_{S12}	0.06	0.02	0.04	1.63	0.06
P_{S13}	0.03	0.03	0.04	1.60	0.07
P_{S14}	0.05	0.07	0.04	1.83	0.06
P_{S15}	0.07	0.03	0.04	2.05	0.02
P_{S16}	0.07	0.11	0.06	2.25	0.04
P_{S17}	0.34	0.20	0.22	2.29	0.24
P_{S18}	0.18	0.19	0.26	2.71	0.34
P_{S19}	0.23	0.20	0.24	2.46	0.19
P_{S20}	0.21	0.27	0.21	2.87	0.20

4.3 橋梁地震維護與重建機率

此階段主要評估橋梁於維護間隔(△t)時間之地震風險，參考鄭明淵學者交通部運輸研究所之橋梁通阻跨河橋梁分析模型(2011)[6]，分析

步驟依順序應用潛勢地震發生機率模型、橋梁地震損傷評估方式評估橋梁地震維護機率。詳細步驟說明如下:

4.3.1 潛勢地震發生機率模型

本部分參考文獻國家地震工程研究中心所執行之計畫[35],「最具潛勢及歷史災害地震之強地動模擬」(2005)。本計畫採用計畫中所提出之數學機率模型，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 1~20 年之地震發生次數與機率。圖 4.9 為此模型之分析流程。

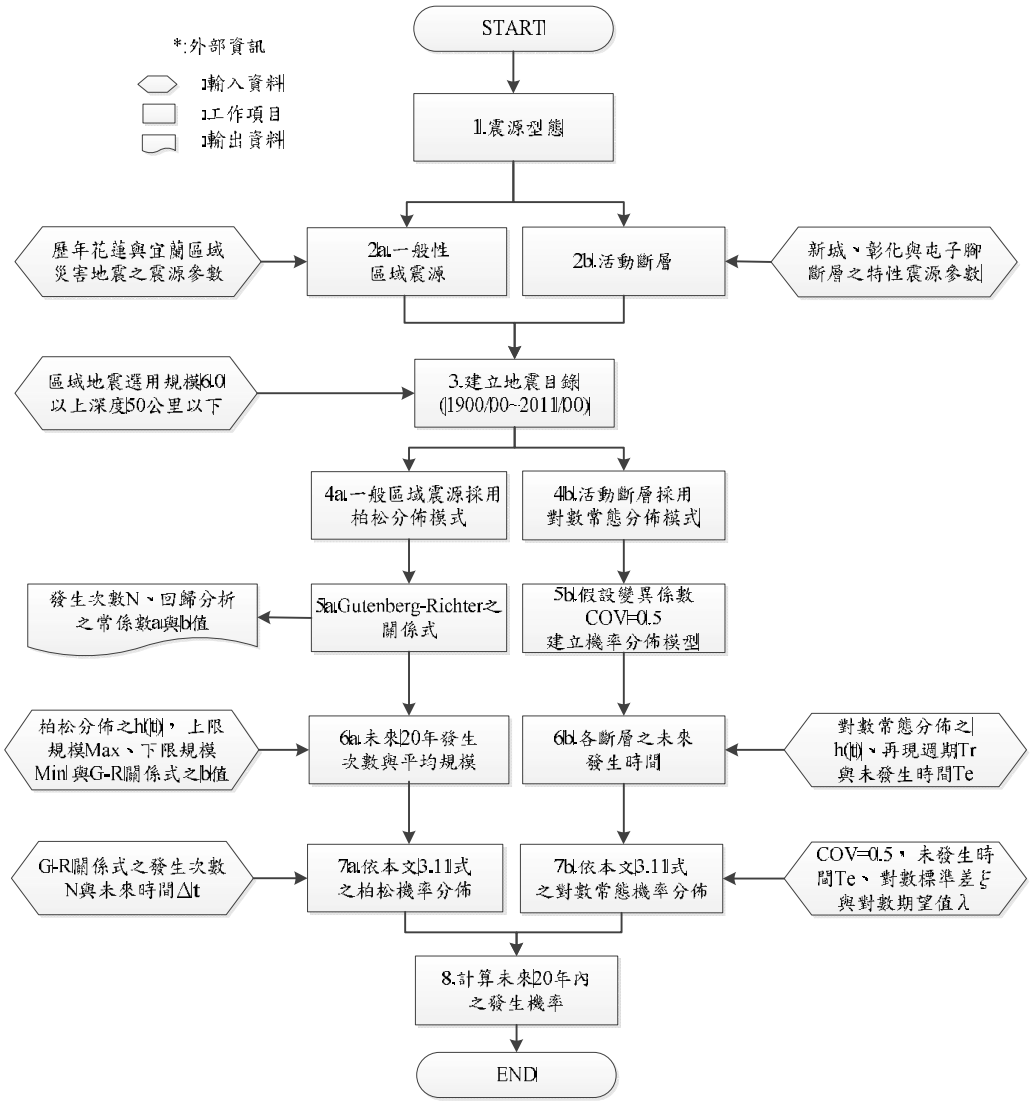


圖 4.9 潛勢地震發生機率模型之流程圖

4.3.1.1 震源型態之介紹

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。本計畫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，而採用之震源參數係依據文獻 (國家地震中心，2005) 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。

4.3.3.2 建立地震目錄及研究對象

根據中央氣象局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。而本計畫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≦ML≦8.0；在決定規模區間後，依據文獻，「橋梁非破壞目視檢測法與自立陸橋實例」(沈永年，2001)[37]，將歷史區域地震資料進行篩選，以建立本計畫的區域地震目錄：

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之間隔作為

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：

$$\log N(m) = a - bm, m_o \le m \le m_u \quad \text{..... (4.1)}$$

式中:

m：地震規模；本計畫以芮氏規模為主

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 式中有一上、下限規模（m_u、m_o）之範圍，取決方式於工程考量或地震紀錄。

4.3.1.3 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)[38]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，而對於風險函數的之影響參數；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，計算公式可遵循式 4.2：

$$N_l(T_0 + Y \mid T_0) = \int_{T_0}^{T_0+Y} h_l(\tau) d\tau \quad \text{..... (4.2)}$$

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，並依照本計畫選取規模區間 $6 \leqq M_L \leqq 8$ 中不同的地震規模大小，求算出不同規模發生機率密度函數與累積機率，並依式中 i 之順序決定未來平均規模大小。本計畫對於未來 20 年之宜蘭 ZS01 與花蓮 ZS02；可經由式 4.3-式 4.6 求得宜蘭 ZS01 與花蓮 ZS02 區域之平均規模與次數，下式為(V. K. Gupta and V. Srimahavishnu，2007)[37]未來發生平均規模公式：

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

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

$$pi(m) = \frac{N_l!}{(N_l-i)!(i-1)!}\left[F(m)\right]^{i-1}\left[1-F(m)\right]^{N_l-i} p(m) \quad \text{..... (4.5)}$$

$$E\left[M_i\right] = \int_{M_{\min}}^{M_{ax}} m p_i(m) dm \quad \text{..... (4.6)}$$

式中:

b值:G-R關係式之回歸參數

m:地震規模，M_{max}及M_{min}：為本計畫決定之上及下限規模

$\tilde{N}$: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，依文獻[1])

$E[M_i]$：平均規模；規模大小依i決定。

4.3.1.4 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+Δt 時間內可能發生地震的機率，故稱此機率為風險函數。而本計畫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：

$$f(t)=\frac{\lambda e^{-\lambda t}}{k!}$$
$$F(t)=\int_0^t f(t)dt=1-e^{-\lambda t}$$
$$h(t)=\frac{f(t)}{1-F(t)}=\frac{\lambda e^{-\lambda t}}{1-(1-e^{-\lambda t})}=\lambda \quad \text{..... (4.7)}$$

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。

4.3.1.5 臺灣未來20年之地震發生機率

本計畫推算未來 20 年發生機率，採用未來發生機率之模式為穩態的柏松模式(Stationary Poisson Model)，引用文獻「二工處省道橋梁耐震補強現地檢測及評估報告書」(公路總局，2010)[39]。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:

$$P = 1 - \exp(-r\Delta t) = 1 - \exp(-N) \quad \text{..... (4.8)}$$

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[1]。

4.3.2 橋梁地震損傷評估

本節採用交通部運輸研究所之橋梁通阻檢測分析模型(2011)中所建置之側推模式 (Pushover)，依側推分析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 20 年可能遭遇之地震，計算其地震損傷指標。分析流程可參考圖 4.10 所示。此外，本計畫以牛門橋(宜蘭)和三星橋為例，進行其地震損傷與風險評估。

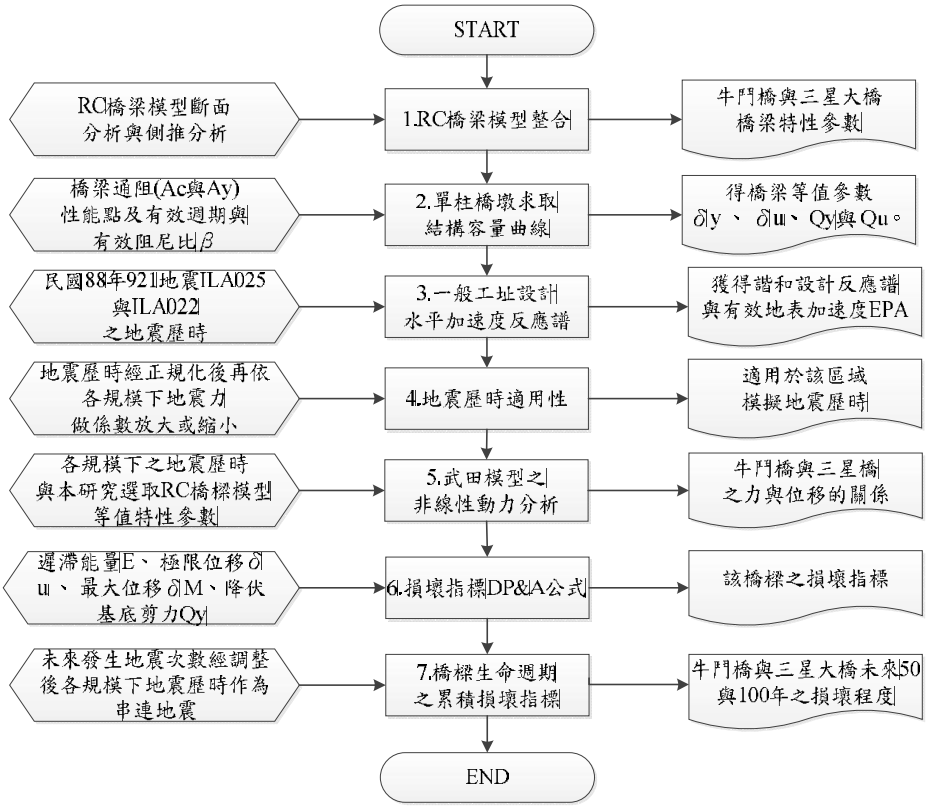


圖 4.10 橋梁地震損傷評估流程圖

4.3.2.1 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 Ay 為降伏地表加速度與 Ac 為崩塌地表加速。換言之，亦可依現有之 Ay 及 Ac 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 Ay 及 Ac 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_S^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 Fv、Fa，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 SDS、SD1 與轉角週期T_0^D，如式 4.9~4.11。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。

$$S_{DS} = F_a S_S^D \quad \text{.....(4.9)}$$

$$S_{D1} = F_v S_1^D \quad \text{.....(4.10)}$$

$$T_0^D = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad \text{.....(4.11)}$$

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，則本計畫假設該座橋梁屬等加速度反應段，而其降伏譜加

速度 Say 則為 2.5Ay；若基本振動週期大於工址轉角週期，則本計畫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 4.13 計算。

$$S_{aD}=\begin{cases}S_{DS}(0.4+3T/T_0^D) & ;\quad T\le 0.2T_0^D\\ S_{DS} & ;\quad 0.2T_0^D\le T\le T_0^D\\ S_{D1}/T & ;\quad T>T_0^D\end{cases} \qquad \text{..... (4.12)}$$

$$S_{ay}=2.5\times A_y\times\left(T_0^D\right)/T \qquad \text{..... (4.13)}$$

本計畫依橋梁 Ay 與 Ac 之比值以決定其地震力折減係數 FuD，參照耐震設計規範以計算其系統韌性容量，如式 4.14 所示。

$$F_{uD}=\begin{cases}R_a & ;\quad T\ge T_0^D\\ \sqrt{2R_a-1}+\left(R_a-\sqrt{2R_a-1}\right)\times\dfrac{T-0.6T_0^D}{0.4T_0^D} & ;\quad 0.6T_0^D\le T\le T_0^D\\ \sqrt{2R_a-1} & ;\quad 0.2T_0^D\le T\le 0.6T_0^D\\ \sqrt{2R_a-1}+\left(\sqrt{2R_a-1}-1\right)\times\dfrac{T-0.2T_0^D}{0.2T_0^D} & ;\quad T\le 0.2T_0^D\end{cases} \qquad \text{..... (4.14)}$$

4.3.2.2 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，本計畫主要參考武田模型 (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 4.11 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 ky、降伏基底剪力 Fy(=M*Say)、極限基底剪力 Fu(本計畫假設其與 Fy 相同)、降伏位移 δy、極限位移 δu(=Ra*δy)、降伏後勁度修正係數 η (本計畫假設為 0) 及勁度折減參數 α(=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。

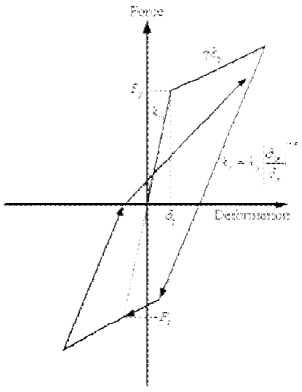


圖 4.11 武田模型(Takeda model)之力量與位移關係

4.3.2.3 RC橋梁模型

牛鬥橋橋長(L)：7@36.6= 256 m；橋柱高(h)：1080 cm，如圖 4.12 所示。橋柱斷面圓形直徑(D)：180 cm；軸力(N)：347 t，如圖 4.13 所示。；箍筋間距(s)：20 cm；主筋#10 根數(n)：30。

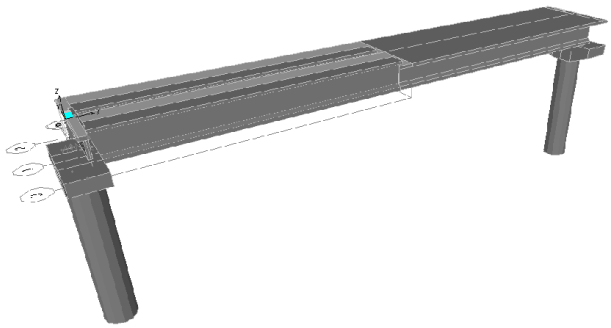


圖 4.12 橋梁通阻之 SAP2000 牛鬥橋模型

資料來源 :橋梁通阻，2011

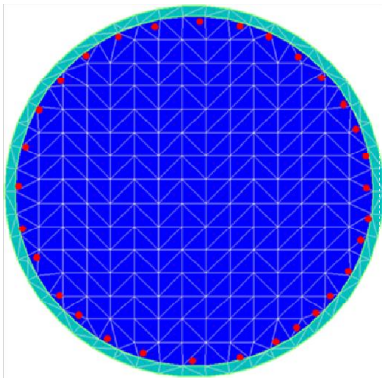


圖 4.13 牛鬥橋之 XTRACT 斷面分析

資料來源 :橋梁通阻，2011

三星橋橋長(L)：4@30= 120 m；橋柱高(h)：600 cm，如圖 4.14 所示。橋柱斷面圓形直徑(D)：300 cm，如圖 4.15 所示。軸力(N)：793 t；箍筋間距(s)：20 cm ；主筋#9 根數(n)：84。

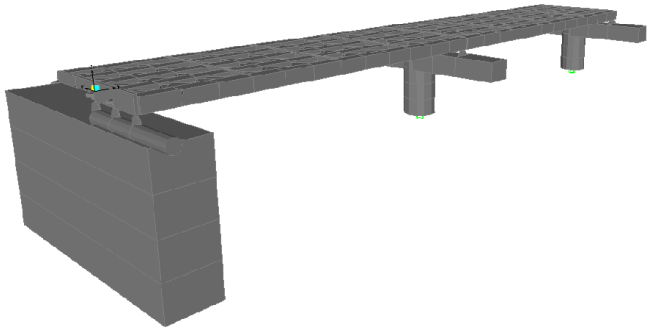


圖 4.14 SAP2000 三星橋模型

資料來源 :橋梁通阻，2011

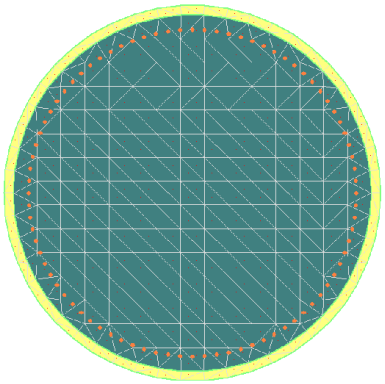


圖 4.15 三星橋之 XTRACT 斷面分析

資料來源 :橋梁通阻，2011

4.3.2.4 諧和加速度地震歷時

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作為該地區諧和地震歷時，本計畫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。本計畫所使用國震中心建議之人造地震歷時模擬方法，依據本章分析結果未來 20 年之地震發生次數與各規模作為輸入檔，由地表震動模擬分析各規模下之 PGA 值輸出檔，可參考文獻[1]。

依表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八十八年 921 地震歷時進行諧和地震歷時分析如圖 4.16 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，本計畫使用地震諧和設計水平反應譜之 EPA 值與該區域各規模下之 PGA 值進行正規化，並依正規化後之地震係數，作為各規模下之該區域諧和地震歷時放大或縮小之依據，即可獲得適用本計畫之人造地震歷時。

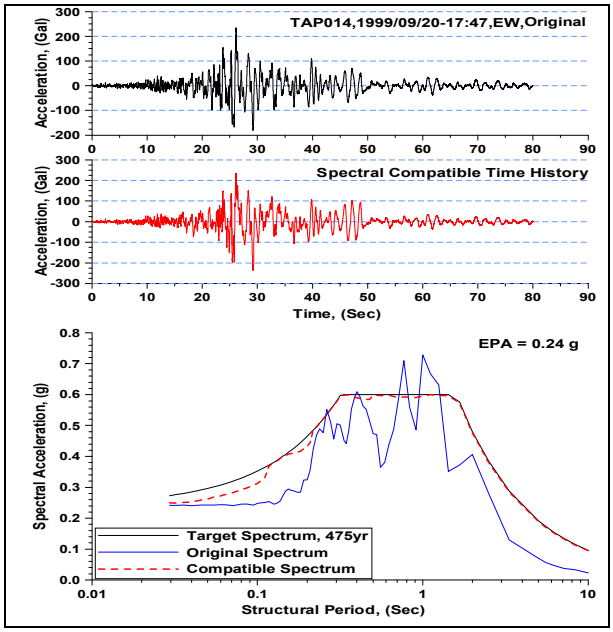


圖 4.16 原始地震歷時與修正後之加速度歷時資料

資料來源:使用國震中心提供程式分析

4.3.3 蒙地卡羅模擬-地震

本計畫依據蒙地卡羅運算模擬地震發生序列，並假設橋梁在未來20 年的條件下，計算各維護間隔△t 年地震所造成的累積損傷，流程如圖 4.17。設定模擬計算次數為 10,000 次，依橋梁累積損傷計算橋梁地震破壞機率。

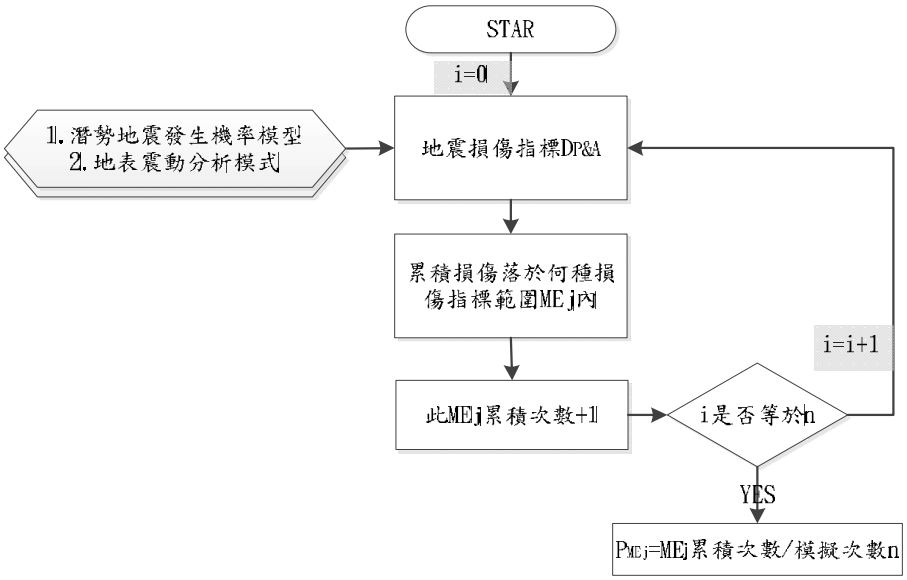


圖 4.17 地震造成維護機率蒙地卡羅計算流程圖

4.3.4 計算地震維護機率(P_{ME})

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；根據損傷指標($D_{P\&A}$)範圍將損壞等級分為五個等級，而與地震損傷指標關係可參照學者高橋稔明日本阪神大地震之統計分析結果(2005)[40]，如表 4-8 所示，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 4.15 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。

$$D_{P\&A}=\frac{\delta_M}{\delta_u}+\frac{\beta}{F_y\delta_u}\int dE \quad \text{.....(4.15)}$$

式中

$D_{P\&A}$：地震損壞指標

δM：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 4-8 RC 結構物之損傷指標

損壞分級(MEj)	損傷指標($D_{P\&A}$)	損壞程度之描述
無損傷 ME_1	<0.1	外部輕微裂縫非結構元件出現
輕微損傷 ME_2	0.1-0.2	結構元件出現微小裂縫
中度損傷 ME_3	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 ME_4	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 ME_5	>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。本計畫利用地震作用後所得之最大反應變位及殘留變位，依式 4.16、4.17 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。

$$\delta_y^i = \delta_M^{i-1} - \delta_r^{i-1} \quad \text{.....(4.16)}$$

$$\delta_u^i = \delta_u^{i-1} - \delta_r^{i-1} \quad \text{.....(4.17)}$$

本計畫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 4.18 所示進行修正。然而，本計畫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 4.18 所示。

$$D_{P\&A}^{i}=\frac{\max\{\delta_1,\delta_2,...,\delta_i\}}{\delta_u}+\frac{\beta}{F_y\delta_u}\sum_{i=1}^{i}\int dE \quad \text{..... (4.18)}$$

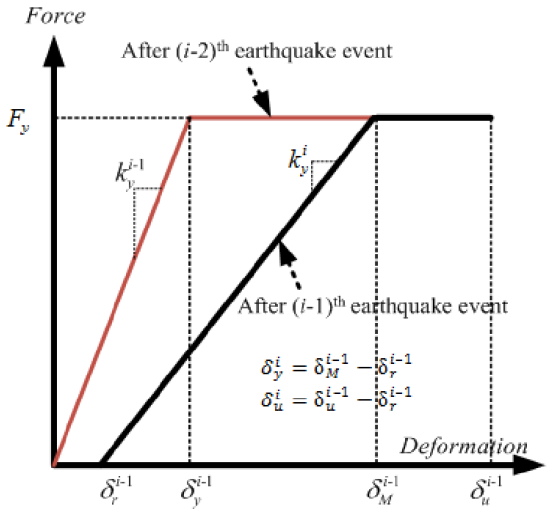


圖 4.18 震後結構性能修正示意圖

本階段應用蒙地卡羅模擬結果，繪製使用年與不同損壞分級之維護機率(P_{ME})。以圖 4.19 之繪製方法為例，在 10000 次蒙地卡羅中，橋梁於第 5 年時，其損傷指標($D_{P\&A}$)介於 0.1~0.2 的次數共 850 次，則對應之損傷分級落在輕微損傷之機率為 850/10000=8.5%。以此類推，即可匯出圖 4.19 之關係曲線。

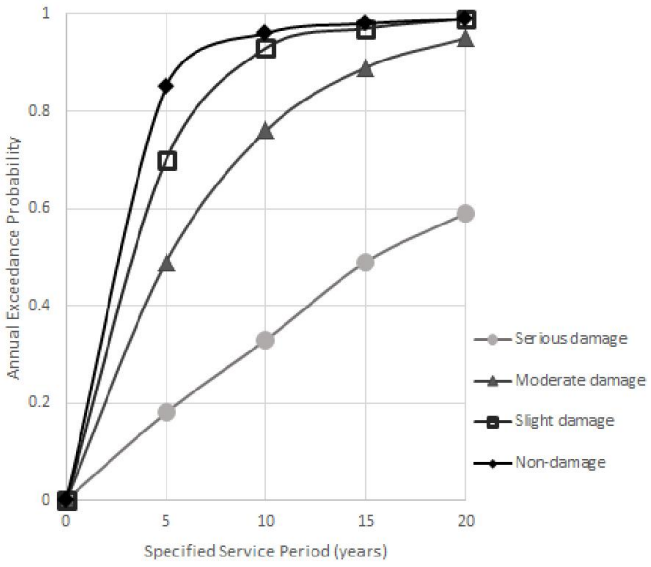


圖 4.19 未來損傷分級機率關係曲線

4.3.5 計算地震重建風險機率(P_E)

由前一階段所求得之完全崩塌機率曲線，即為橋梁在不同使用年限時，因地震造成斷橋重建風險機率(P_E)的曲線。例如，在 10000 次蒙地卡羅中，其損傷分級落在完全崩塌之次數總計有 8 次，因此可得到地震造成重建機率 P_E=8/10000=0.08%。

4.4 橋梁維護機率小結

本章節將彙整各風險因子各年度之維護機率與重建機率。如表 4-9 為橋梁於時間間隔△t 發生之維護機率，為公式 3.2 之機率參數。而表 4-10 為橋梁於時間間隔△t 發生之重建機率為公式 3.3 之機率參數。

表 4-9 橋梁編號 B04-0030-217A 至 B04-0030-220A 各年度橋梁維護機率

單位:%

維護機率值	橋齡	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P_{MD}	B04-0030-217A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7	36.8	97	100	100	100	100	100	100	100	100
	B04-0030-217B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B04-0030-217C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B04-0030-217D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.3	39.1	97.1	100	100	100	100	100	100	100	100
	B04-0030-220A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7	37.4	97.1	100	100	100	100	100	100	100	100
P_{MS}	B04-0030-217A	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.6	0.8	0.7	0.4	0.5	0.7	0.7	3	1.5	1.8	1.6
	B04-0030-217B	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.4	0.6	0.3	0.4	0.7	0.3	1	1.8	1.6	1.6	2
	B04-0030-217C	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.8	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.6	1.9	2.2	1.9	1.6
	B04-0030-217D	6.3	5.7	5.7	5.5	5.6	5	18.5	16.8	19.6	20.5	20.4	20.4	18.5	19.6	20.5	21.1	20.2	22.6	19.4	21.5
	B04-0030-220A	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	0.2	0.8	0.7	0.8	0.6	0.2	0.4	2.1	2.8	1.5	1.5
P_{ME}	B04-0030-217A	1	6.5	13	16.5	18.5	19.5	20	23.5	24.5	27.8	28.8	28.8	30.5	31.3	32	32.8	34.8	35.5	35.5	37.8
	B04-0030-217B	1	1.25	2.25	2.75	3.75	4	5.25	6	6.5	7.5	8	9	9.75	11.3	11.8	13	14	14.5	15.5	18.8
	B04-0030-217C	0.5	1.75	2	2.5	3.5	4.25	5.75	7	8.5	9.5	10.3	10.8	11.3	12.8	13	14	14.5	15	15.5	16.3
	B04-0030-217D	9.5	16	28	32.8	34	35.5	39	40.5	44.5	49.3	50.5	50.8	53.3	55.8	59.3	62	63.3	65.8	67.8	71.5
	B04-0030-220A	1.75	9.5	14.3	16.8	20.5	23.8	24.5	25.5	26.5	27.8	28.8	29.8	33.3	34.5	34.5	36.3	36.3	36.3	36.3	36.3

表 4-10 橋梁編號 B04-0030-217A 至 B04-0030-220A 各年度橋梁重建機率

單位:%

維護機率值	橋齡	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P_S	B04-0030-217A	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.04	0.06	0.06	0.03	0.05	0.07	0.07	0.34	0.18	0.23	0.21
	B04-0030-217B	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.03	0.04	0.02	0.03	0.07	0.03	0.11	0.2	0.19	0.2	0.27
	B04-0030-217C	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.22	0.26	0.24	0.21
	B04-0030-217D	0.042	0.08	0.11	0.15	0.19	0.2	0.86	0.9	1.18	1.37	1.5	1.63	1.6	1.83	2.05	2.25	2.29	2.71	2.46	2.87
	B04-0030-220A	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0.01	0.06	0.06	0.07	0.06	0.02	0.04	0.24	0.34	0.19	0.2
P_E	B04-0030-217A	2.5	2.5	2.5	2.5	5	5	10	10	10	10	10	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
	B04-0030-217B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B04-0030-217C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B04-0030-217D	0	0	2.5	2.5	2.5	2.5	5	7.5	10	10	12.5	17.5	17.5	20	25	27.5	30	37.5	42.5	47.5
	B04-0030-220A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5	2.5	2.5	5	5	5	7.5	10	10	10	10

第五章　橋梁風險影響程度

本計畫將橋梁破壞後，維護達原設計水準 90%所花費之成本，然後乘上橋梁維護或重建之機率定義為風險影響程度(高橋稔明，2005)[41]。本章節利用上章節獲得之橋梁維護機率(P)結合本章推估之橋梁維護成本(C)，推論該橋梁風險影響程度，其流程如圖 5.1 所示。

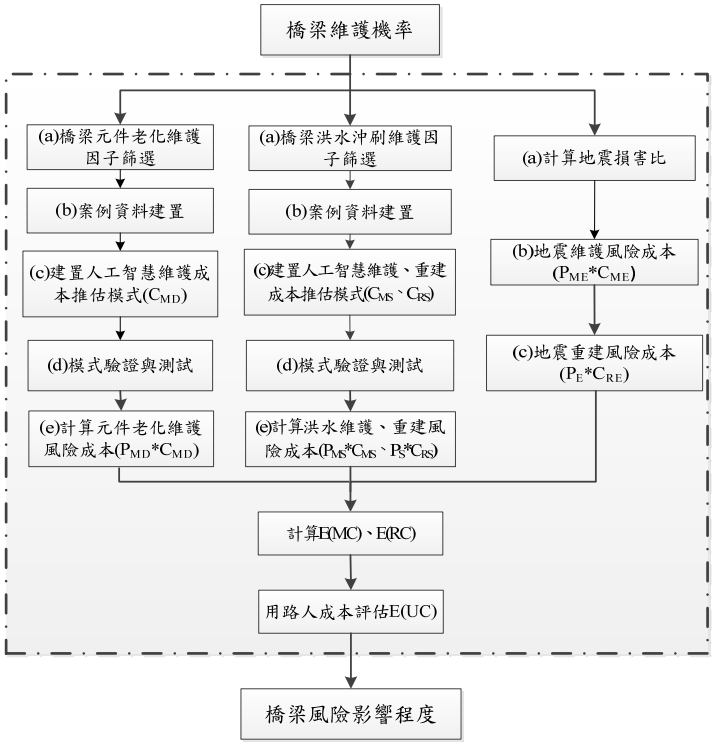


圖 5.1 橋梁風險影響程度流程圖

本章將分為四部分介紹，第一、二部分將建立元件老化與洪水之維護工法案例資料，依前述求得之 CI 與 SSI 下降曲線，在未來某一時間點，求得所對應之 CI 和 SSI 值，接著分別建立元件老化與洪水橋梁維護案例資料庫，藉由檢測歷史紀錄與維護案例資料之連結，可得不同損壞狀態下(CI 及 SSI)所對應之維護成本。然後應用人工智慧推論模式，以 CI 及 SSI 等因子為輸入，維護成本為輸出，建立橋梁元件老化、耐洪維護成本推估模式，以預測未來橋梁分別因老化與洪水維護所需花費的成本(C_{MD}&C_{MS})。

第三部分將介紹地震損傷超越機率及地震風險成本概念。參考日本阪神地震之文獻，依據前一階段所求得橋梁各損傷指標發生機率，先乘上此指標所對應損害分級之損害比，加總後再乘上興建成本即為橋梁因地震風險下所需維護成本。最後橋梁因老化與洪水因素所需花費的維護成本(C_{MD}&C_{MS})分別與因老化與洪水維護機率(P_{MD}&P_{MS})相乘，再加上橋梁因地震風險下所需維護成本，即可得到橋梁風險下維護成本 E(MC)(式 3.2)。而橋梁斷橋重建成本與橋梁重建機率相乘即可得到橋梁損害風險下之重建成本 E(RC)(式 3.3)。

第四部份將蒐集重要性非直接成本因子，並彙整相關用路人成本文獻，並經由篩選將重要性非直接成本因子量化成用路人成本，待確認用路人成本之量化公式後，本計畫將收集用路人成本公式之相關資料與各橋梁之統計數據，如替代道路長度與車流量等，概算出橋梁部分封閉與完全封閉狀況下所額外增加之成本。

5.1 橋梁元件老化維護風險成本

5.1.1 橋梁維護因子評估

本計畫收集歷史橋梁維護經費資料，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，如此即可根據不同橋梁之 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，因此本計畫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，進而發展出一橋梁維護成本推論模式。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，因此本計畫希望應用 ESIM，建立橋梁元件老化維護成本評估模式，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。

本計畫參考臺灣地區橋梁管理資訊系統，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，篩選最適當的因子，作為本計畫模式顯著相關參數的因子。

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 橋梁維護因子篩選

本計畫依據公路總局 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護經費之相關性。故將結合案例作統計分析，以 TBMS 系統中 160(非跨河)筆橋梁維護紀錄為資料庫，利用 SPSS 分析評估因子與維護經費相關性，挑選顯著相關參數作為模式因子。彙整後初擬影響元件老化維護經費的因子如表 5-2。

本計畫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*號表示(如表 5-2)。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，而高程則考量山地與平地段之差異。

表 5-2 影響元件老化維護經費因子

評估流程	影響因子	關聯	單位
SPSS 關聯分析	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
	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
修正後	竣工年*	施工技術	民國年
	高程*	山地與平地段考量	文字

5.1.3 建立橋梁維護案例資料庫

本計畫收集歷史維修紀錄，分別收集跨河橋維修案例 228 筆(如表 5-3)，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護成本。

表 5-3 跨河橋維護案例(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

5.1.4 建置人工智慧元件老化維護成本推估模式

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,因此本計畫藉由 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護經費之映射關係，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維護成本。

5.1.4.1 模式參數設定

本計畫使用學者吳育偉等(2008)之研究，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。首先將橋梁風險維護成本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。

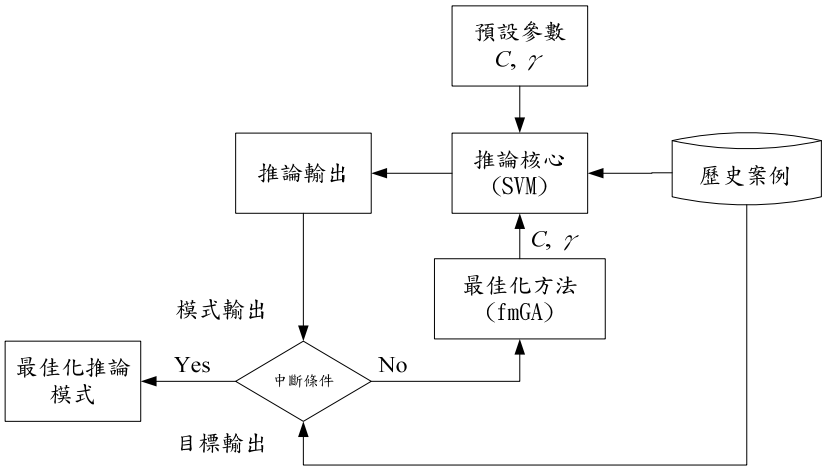


圖 5.2 人工智慧橋梁耐震能力推論模式

5.1.4.2 ESIM可行性分析

本節依據 ESIM 之架構與特性，針對本計畫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(Kernl Fuction)中(gamma)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 5.1。

X_{norm}＝（X－X_{Min}）/（X_{Max}－X_{Min}） ..... (5.1)

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 γ=0.0001~1，如表 5-4 所示。完成設定後，ESIM 系統即進行最佳模式搜尋。

表 5-4　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，本計畫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。

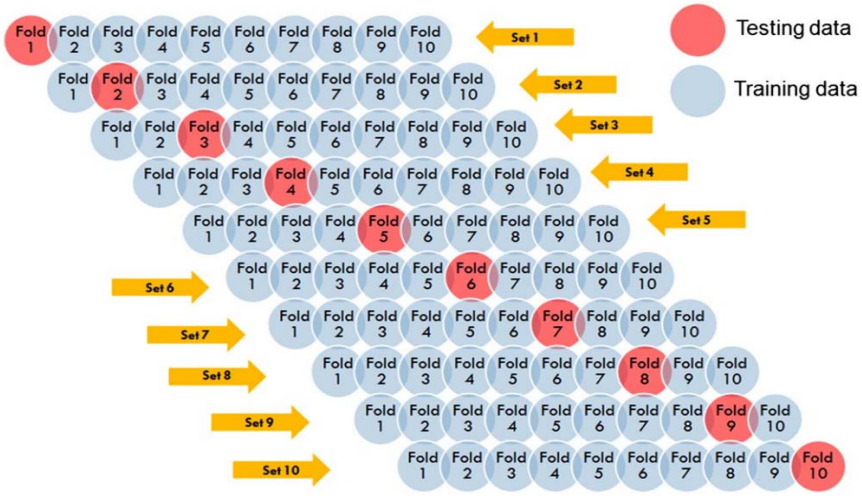


圖 5.3 10 組交叉驗證法

資料來源: Jui-Sheng Chou，2011

步驟三、模式驗證

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元件老化維護成本推論模式，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護成本輸出值，此評估值又稱為模式預測值；實際橋梁維護成本為實際值，為了瞭解模式訓練後之模式準確度，本計畫以誤差均方根（RMSE），計算公式如式 5.2 所示，來衡量模式學習精度。分析結果如下表 5-5 所示。

$$\mathrm{RMSE} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{M} e_i^2}{M} \right)^{1/2} \qquad \text{.....(5.2)}$$

表 5-5 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

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。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。

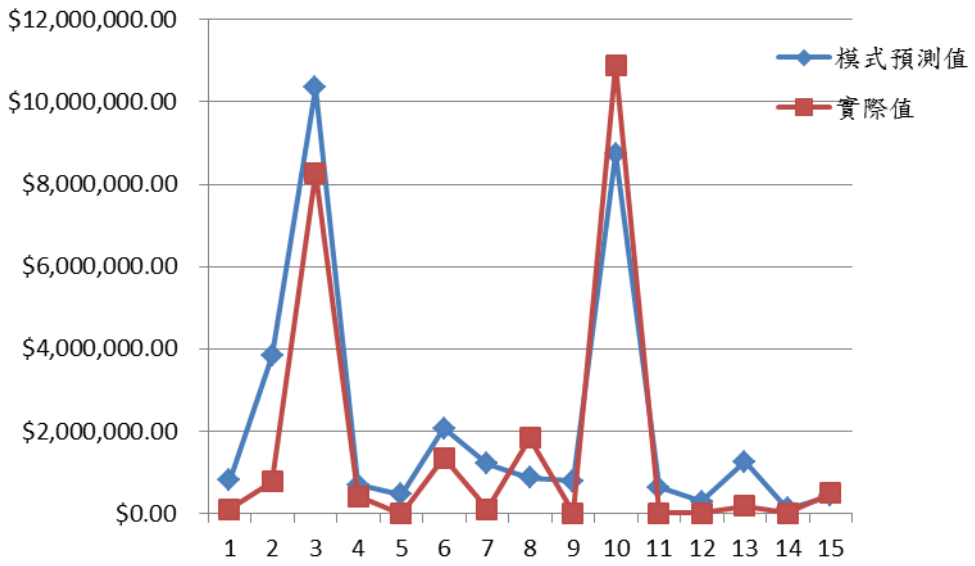


圖 5.4 橋梁維護成本預測值與實際值比較-非跨河橋梁(元件老化)

5.1.6 計算元件老化維護風險成本(P_{MD}*C_{MD})

本步驟整理各橋梁在維護間隔△t之維護機率P_{MD}與維護成本C_{MD}相乘之結果，即可求得元件老化維護風險成本。

5.2 洪水造成風險影響程度

5.2.1 橋梁維護因子評估

本計畫同元件老化收集橋梁歷史維護經費資料，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，如此即可根據不同橋梁之

D.E.R.&U.調查結果推論可能維護經費。

本計畫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洪水沖刷指標(SSI)，將依據其橋梁屬性資料欄位(如本計畫收集歷史橋梁維護經費資料，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，如此即可根據不同橋梁之 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，因此本計畫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，進而發展出一橋梁維護成本推論模式。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，因此本計畫希望應用 ESIM，建立橋梁元件老化維護成本評估模式，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。

本計畫參考臺灣地區橋梁管理資訊系統，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，篩選最適當的因子，作為本計畫模式顯著相關參數的因子。

5.2.2 橋梁維修因子篩選

本計畫依據公路總局 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)，利用 SPSS 分析評估因子與維修經費相關性，挑選顯著相關參數作為模式因子。初擬影響洪水沖刷維修經費的因子如表 5-6。

本計畫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。洪水沖刷部分則新增高程以考量山地與平地段之差異。

表 5-6 洪水維護經費因子

評估流程	影響因子	關聯	單位
SPSS 關聯分析	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
	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
修正後	高程*	山地與平地段考量	文字

5.2.3 建立橋梁維修案例資料庫

本計畫收集歷史維修紀錄，收集跨河橋維修案例 228 筆(如表 5-7)，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護成本。

表 5-7 跨河橋維護案例(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
⋮										
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

5.2.4 建立人工智慧洪水沖刷維護成本推估模式

此階段僅考量洪水對橋梁維護成本之影響，因此本計畫藉由 AI 推估橋梁洪水沖刷維護成本，找出橋梁日常巡檢目視調查(SSI)之表單資料與對應橋梁案例維修經費之映射關係。其中模式推估步驟可參考本章 5.1.4 小節。

5.2.5 ESIM模式訓練與測試

步驟一、案例輸入

洪水輸入影響因子如表 5-6 中 7 項，將跨河橋梁案例資料輸入 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值設定與元件老化相同，如式 5.1。

步驟二、模式訓練

此步驟設定跨河橋梁案例推論模式參數。相關設定與元件老化相同。完成設定後，ESIM 系統即進行最佳模式搜尋。為求模式之準確性及廣泛應用性，採取文獻中人工智慧常用之十組交叉驗證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 5.3 所示。

步驟三、模式驗證

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洪水沖刷維護成本推論模式，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；實際橋梁維護成本為實際值，為了瞭解模式訓練後之模式準確度，本計畫以誤差均方根（RMSE），計算公式

如式 5.2 所示，來衡量模式學習精度。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 5-8 所示。

2.測試案例驗證

以第一組測試案例輸出結果為例，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。

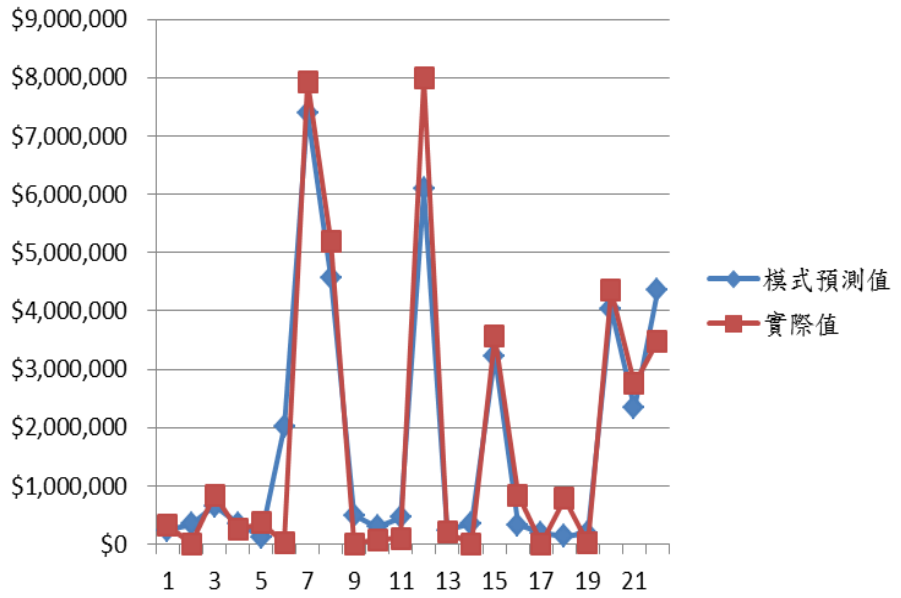


圖 5.5 橋梁風險影響程度預測值與實際值比較-跨河橋梁(洪水)

5.2.6 計算洪水維護、重建風險成本(P_{MS}*C_{MS}、P_S*C_{RS})

本步驟將各維護時間間隔△t 之 P_{MS} 及 P_S 分別與 C_{MS} 及 C_{RS} 相乘，即可分別求得洪水維護、重建風險成本。

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
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

5.3 地震維護與重建風險成本

5.3.1 計算地震損傷比

本計畫主要針對橋梁維護時間間隔△t 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，本計畫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，因此本計畫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，本計畫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，本計畫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(5.3)。本計畫參考 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。

$$\frac{C_L}{C_I} \quad \text{.....} \quad (5.3)$$

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 CE 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(5.4)所示。

$$C_E = \sum \left(C_E^i \times P_E^i \right) \quad \text{..... (5.4)}$$

上式

C_E^i：橋梁第i損壞等級之損害比

P_E^i：橋梁第i損壞等級之發生機率

5.3.2 地震維護風險成本(P_{ME} *C_{ME})

本階段根據橋梁各維護間隔△t 維護機率所求得各地震損傷分級之發生機率(P_{MEj})，將地震造成輕微、中度、重度損傷分級之機率乘上損害分級之損害比(Dj)，加總後乘上興建成本，即可求得橋梁在不同時間間隔下之地震維護風險成本。

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)。依本計畫所提之分析模式進

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 20 年之地震風險成本則為重建成本之 0.6 倍。

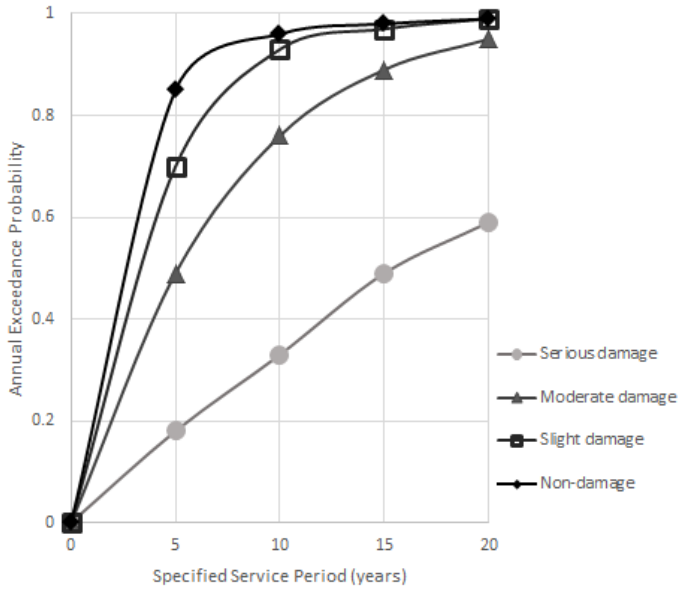


圖 5.6 三星橋未來 20 年內之損傷超越機率

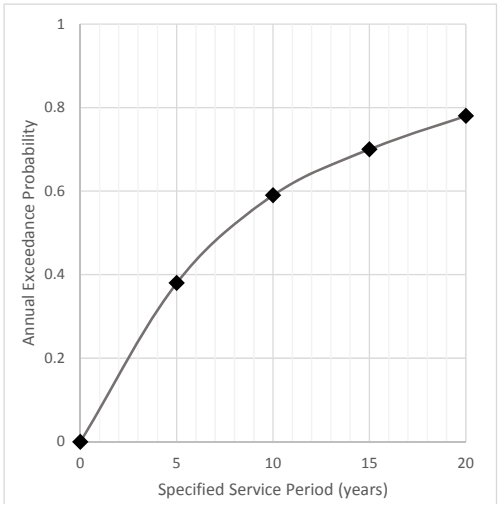


圖 5.7 三星橋未來 20 年內之地震風損成本(單位為重建成本)

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)。依本計畫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，若假設以完全崩塌損傷狀態之超越機率 0.4(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 20 年；而 20 年之地震風險成本則為重建成本之 0.4 倍。

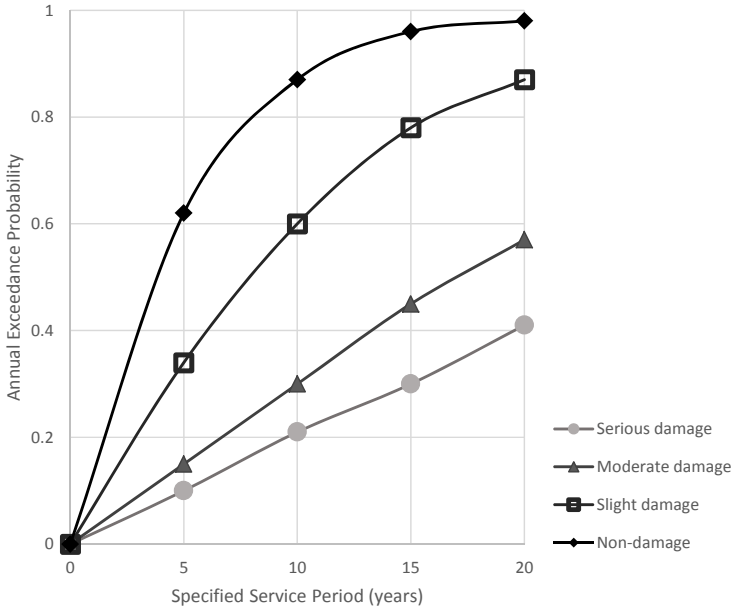


圖 5.8 牛鬥橋未來 20 年內之損傷超越機率

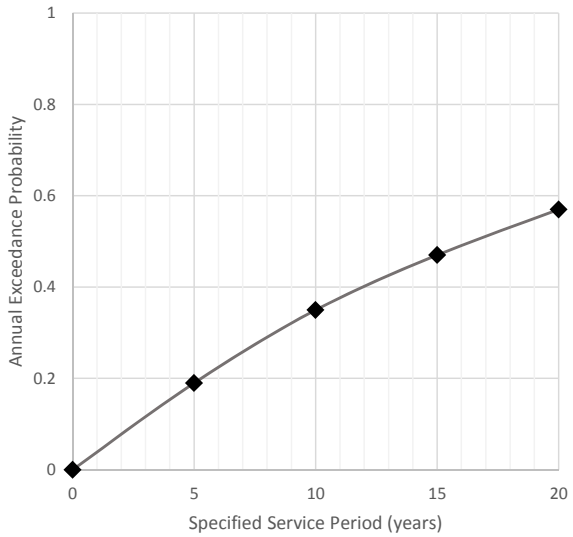


圖 5.9 牛鬥橋未來 20 年內之地震風損成本(單位為重建成本)

5.3.3 地震重建風險成本(P_E *C_{RE})

根據橋梁各維護間隔△t 維護機率所求得之完全崩塌機率(P_{ME})乘上興建成本，即可求得橋梁因地震造成重建之風險成本。

5.4 計算 E(MC)、E(RC)

本步驟將計算元件老化、洪水、地震各維護間隔△t 下造成之維護風險成本 E(MC)及重建風險成本 E(RC)。

E(MC)計算之方法(公式 3.2)為將表 4-9 各風險因子之維護機率乘上所對應未來可能發生之維護成本，加總後之結果為各年度橋梁維護風險成本 E(MC)，其中老化部分需考慮每次維護時所需要的檢點(查)費用，本計畫參考新北市政府 2012 年之紀錄[42]，平均每座橋梁之費用為 10,000 元，其橋梁平均長度約為 64 公尺，因此本計畫估計橋梁每 1 公尺之檢查費用約為 156 元。計算結果參照表 5-10。

另外 E(RC)計算之方法(公式 3.3)為將表 4-10 橋梁之重建機率乘上興建成本，加總後之結果為各年度洪水與地震之重建風險成本，其中，橋梁因地震或洪水造成損害之重建成本 C_{RS}、C_{RE} 採用橋梁興建成本為預設值，計算結果參照表 5-11。

表 5-10 橋梁編號 B04-0030-217A 至 B04-0030-220A 各年度橋梁維護風險成本

橋梁維護成本	橋齡	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{MD}*C_{MD}$	B04-0030-217A	2,434	2,434	2,434	2,434	2,434	2,434	2,434	2,434	2,434	2,434
	B04-0030-217B	148,200	148,200	148,200	148,200	148,200	148,200	148,200	148,200	148,200	148,200
	B04-0030-217C	983	983	983	983	983	983	983	983	983	983
	B04-0030-217D	14,040	14,040	14,040	14,040	14,040	14,040	14,040	14,040	14,040	14,040
	B04-0030-220A	6,271	6,271	6,271	6,271	6,271	6,271	6,271	6,271	6,271	6,271
$P_{MS}*C_{MS}$	B04-0030-217A	0	0	0	0	0	0	0	0	3,177	9,531
	B04-0030-217B	0	0	0	0	0	0	0	0	2,377	2,800
	B04-0030-217C	0	0	0	0	0	0	0	0	307	1,737
	B04-0030-217D	100,074	90,543	90,543	87,366	88,954	79,424	293,867	266,863	311,340	325,637
	B04-0030-220A	0	0	0	0	0	0	0	0	8,270	2,746
$P_{ME}*C_{ME}$	B04-0030-217A	95,470	620,555	1,241,110	1,575,255	1,766,195	1,861,665	1,909,400	2,243,545	2,339,015	2,649,293
	B04-0030-217B	7,374,380	9,217,975	16,592,355	20,279,545	27,653,925	29,497,520	38,715,495	44,246,280	47,933,470	55,307,850
	B04-0030-217C	20,975	73,413	83,900	104,875	146,825	178,288	241,213	293,650	356,575	398,525
	B04-0030-217D	6,395,400	10,771,200	18,849,600	22,047,300	22,888,800	23,898,600	26,254,800	27,264,600	29,957,400	33,155,100
	B04-0030-220A	635,968	3,452,395	5,178,593	6,087,118	7,449,905	8,630,988	8,903,545	9,266,955	9,630,365	10,084,628
橋梁維護成本	橋齡	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$P_{MD}*C_{MD}$	B04-0030-217A	285,546	748,681	771,761	771,761	771,761	771,761	771,761	771,761	771,761	771,761
	B04-0030-217B	148,200	148,200	148,200	148,200	148,200	148,200	148,200	148,200	148,200	148,200
	B04-0030-217C	983	983	983	983	983	983	983	983	983	983
	B04-0030-217D	314,847	761,057	783,367	783,367	783,367	783,367	783,367	783,367	783,367	783,367
	B04-0030-220A	1,670,162	4,985,829	5,861,251	6,627,383	7,435,568	8,273,427	9,141,778	10,028,456	10,971,074	11,918,735
$P_{MS}*C_{MS}$	B04-0030-217A	12,708	11,119	6,354	7,942	11,119	11,119	47,654	23,827	28,592	25,416
	B04-0030-217B	4,840	2,751	4,174	8,406	3,888	14,360	27,297	26,739	28,776	38,406
	B04-0030-217C	1,683	1,854	2,508	2,476	2,788	4,918	17,848	23,375	21,719	19,857
	B04-0030-217D	324,048	324,048	293,867	311,340	325,637	335,167	320,871	358,994	308,163	341,521
	B04-0030-220A	12,310	11,711	15,020	12,413	4,408	9,565	54,548	79,691	44,506	46,969
$P_{ME}*C_{ME}$	B04-0030-217A	2,744,763	2,744,763	2,911,835	2,983,438	3,055,040	3,126,643	3,317,583	3,389,185	3,389,185	3,603,993
	B04-0030-217B	58,995,040	66,369,420	71,900,205	82,961,775	86,648,965	95,866,940	103,241,320	106,928,510	114,302,890	138,269,625
	B04-0030-217C	429,988	450,963	471,938	534,863	545,350	587,300	608,275	629,250	650,225	681,688
	B04-0030-217D	33,996,600	34,164,900	35,847,900	37,530,900	39,887,100	41,738,400	42,579,900	44,262,900	45,609,300	48,133,800
	B04-0030-220A	10,448,038	10,811,448	12,083,383	12,537,645	12,537,645	13,173,613	13,173,613	13,173,613	13,173,613	13,173,613

表 5-11 橋梁編號 B04-0030-217A 至 B04-0030-220A 各年度橋梁重建風險成本

橋梁風險重建成本	橋齡	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_S*C_{RS}	B04-0030-217A	0	0	0	0	0	0	0	0	571	1,904
	B04-0030-217B	0	0	0	0	0	0	0	0	1,142	1,269
	B04-0030-217C	0	0	0	0	0	0	0	0	857	2,539
	B04-0030-217D	1,999	3,618	5,426	6,981	8,885	9,520	41,095	42,650	55,978	65,053
	B04-0030-220A	0	0	0	0	0	0	0	0	1,999	635
P_E*C_{RE}	B04-0030-217A	119,000	119,000	119,000	119,000	238,000	238,000	476,000	476,000	476,000	476,000
	B04-0030-217B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B04-0030-217C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B04-0030-217D	0	0	119,000	119,000	119,000	119,000	238,000	357,000	476,000	476,000
	B04-0030-220A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	119,000
橋梁風險重建成本	橋齡	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P_S*C_{RS}	B04-0030-217A	2,793	2,666	1,650	2,221	3,332	3,554	16,184	8,568	10,853	10,155
	B04-0030-217B	2,094	1,142	1,650	3,110	1,428	5,077	9,710	9,139	9,647	12,693
	B04-0030-217C	2,094	1,904	2,063	1,777	1,904	3,046	10,250	12,566	11,456	10,155
	B04-0030-217D	71,210	77,683	76,319	87,076	97,580	107,132	108,972	129,091	116,969	136,453
	B04-0030-220A	2,793	2,666	3,300	2,666	952	2,031	11,329	15,994	9,044	9,520
P_E*C_{RE}	B04-0030-217A	476,000	595,000	595,000	595,000	595,000	595,000	595,000	595,000	595,000	595,000
	B04-0030-217B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B04-0030-217C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B04-0030-217D	595,000	833,000	833,000	952,000	1,190,000	1,309,000	1,428,000	1,785,000	2,023,000	2,261,000
	B04-0030-220A	119,000	119,000	238,000	238,000	238,000	357,000	476,000	476,000	476,000	476,000

5.5 用路人成本評估 E(UC)

因本計畫之對象為群橋，亦即在同一工程處轄下管理之所有橋梁，橋梁管理單位在擬定橋梁維護策略時，除考量元件老化、洪水、地震的維護與風險成本，還有洪水與地震造成之重建成本，而橋梁之重要性亦為決定維護優先順序之考量，故本計畫應用非直接成本因子與用路人成本評估模式，概算出橋梁因維護延時與道路中斷繞行替代道路所額外增加之用路人直接成本 E(UC)。

5.5.1 重要性非直接成本因子篩選

本計畫將橋梁之重要性納入考量，藉由文獻回顧，初步確認橋梁重要性非直接成本因子，然後應用統計關聯性分析確認非直接成本因子與用路人直接成本之關聯，再依各因子之關聯性建置一橋梁用路人直接成本評估模式。

本計畫彙整國內外決定橋梁維護優先順序的非直接成本因子相關文獻[18]，並以層級之方式，依類別建立各項非直接成本因子。再依據各類別考慮之非直接成本因子，將其量化成用路人直接成本，以應用在本模式最佳化排序中。

本計畫將橋梁維護的重要性分成 6 大類，分別是經濟衝擊、生命安全、維生管線、歷史價值、國防用途、緊急應變系統等，並根據國內外 11 篇之文獻，整理出各類別之相關非直接成本因子。其架構圖如圖 2.2。彙整結果如表 5-12，本計畫考量經濟衝擊中社會經濟層面難以量化評估，因此將僅計算用路人額外成本。而生命安全將納入本計畫考量。維生管線因非公路總局管轄範圍[43-44]，故不計算。緊急應變系統、國防用途、歷史價值皆難以量化評估，不在此研究範圍。

表 5-12 重要性非直接成本因子篩選結果表

類別	文獻來源 / 非直接成本因子	公路總局[18]	運輸研究所[16]	葉士青 2004[17]	Mod. B&H'91	Mod. Buckle'95	Montana	Nevada	South Carolina	Missouri	Illinois	European BRIME
經濟衝擊	橋梁長度	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎	◎		
	橋梁寬度							◎	◎	◎	◎	
	改道長度	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
	道路等級	◎		◎	◎		◎	◎		◎		◎
	橋上交通量	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎
	功能分類					◎						
	車道數							◎		◎		
	服務類型							◎			◎	
	全國性路網								◎			◎
生命安全	橋梁長度	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎	◎		
	橋上交通量	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎
	橋下交通量	◎	◎									
	功能分類			◎	◎	◎						
	跨河橋梁						◎		◎			
	車道數							◎		◎		
	老舊橋梁		◎									
維生管線	維生管線	◎	◎	◎	◎	◎		◎			◎	
緊急應變系統	緊急應變系統	◎	◎									
國防用途	戰略位置	◎	◎			◎		◎	◎		◎	
	後勤補給路線	◎										
歷史價值	古蹟	◎										◎
	工程技術特殊性	◎	◎									

將上述篩選後因子歸納成經濟衝擊與生命安全兩類別，如表 5-13 所示。本計畫視這些因子，均與用路人旅行成本有關，因此本計畫將其重新定義為用路人直接成本因子，以下即依此定義建立評估模式。

表 5-13 篩選後之重要性類別與非直接成本因子

類別	文獻來源 / 非直接成本因子	總計
經濟衝擊	橋梁長度	8
	改道長度	10
	道路等級	7
	橋上交通量	10
生命安全	橋梁長度	8
	橋上交通量	10

5.5.2 用路人直接成本評估模式

因本計畫風險範疇為群橋生命週期之維護策略，公路總局須保障道路使用者之權益與安全，所以在最佳化排序風險成本時，須納入用路人成本損失之部分。本計畫將依據上述所確認之各因子取代號(如表 5-14)，並參考文獻[22-24]，分別建立相關計算公式(如表 5-15)，後續將會根據表 5-15 之公式計算出橋梁用路人直接成本損失。

表 5-14 篩選後之重要性與非直接成本因子代號表

類別	重要性非直接成本因子	代號
經濟衝擊	橋梁長度	L
	改道長度	L’
	道路等級	S
	橋上交通量	ADT
生命安全	橋梁長度	L
	橋上交通量	ADT

用路人成本概算表編號分成三大類。第一類為旅行延時成本，考量道路狀況分成部分封閉(維護時間間隔下，下次橋梁維護造成交通擁擠或是車流型態變化，而造成之用路人損失)與完全封閉(因洪水或是地震造成橋梁斷橋而道路中斷，用路人因橋梁封閉需改道行駛替代道路

來抵達目的地之成本損失)。第二類為車輛運行成本，也分成部分封閉與完全封閉。第三類為事故發生成本，經由文獻(蘇振維，1991)[45]可得知，施工期間施工區肇事機率無明顯增加(An=Aa)，因此本計畫不考慮橋梁部分封閉之事故發生成本，故僅考慮完全封閉。另外，商家損失因不易評估，所以本計畫僅考慮用路人成本，後續將會詳細介紹各計算公式之各參數。

表 5-15 用路人直接成本概算表(元/天)

	用路人成本			
類別編號	成本項目	道路狀況	計算公式	說明
Ⅰ	旅行延時成本	部分封閉	$(\frac{L}{S_a}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times W\times NP$	L為因子橋梁長度與改道長度量化部分 L：維修影響的道路長度(Km) L'：橋梁的改道長度(Km) S為道路等級量化之部分，因不同道路等級平時行車速度不同 Sa：維修時車行速度(Km/hr) Sn：平日車行速度(Km/hr) ADT為橋上交通量量化部分 ADT：每日平均交通流量(輛/日) W：旅行平均每小時時間價值(元/hr) NP:平均乘載駕駛人 r：車輛平均每小時燃料及折舊成本(元/hr) An：車輛事故發生率（次/百萬輛公里） Ca：每次事故成本（元/次）
		完全封閉	$(\frac{L'}{S_n}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times W\times NP$	
Ⅱ	車輛運行成本	部分封閉	$(\frac{L}{S_a}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times r$	
		完全封閉	$(\frac{L'}{S_n}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times r$	
Ⅲ	事故發生成本	完全封閉	$(L'-L)\times ADT\times A_n\times C_a$	

5.5.3 旅行延時成本(Daily Traveler's Time Value)

用路人成本類別的第一類為旅行延時成本，為道路因橋梁維護或是災害發生時造成使用者旅行時間之延滯所帶來之成本損失。另外，延滯成本之產生也可能是由於道路進行工程施作時，造成交通擁擠或車流型態變化而造成旅行時間相對增加。其中施工期間之長短決定於施工作業量及施工效率，施工延時越長對於交通旅次將產生越大的衝擊。旅行時間成本部分係利用時間價值參數予以貨幣化，並針對時間價值參數估算，一般而言，目前所使用之估計方式係以單位時間薪資進行估算旅行延時成本，本章以元/天為單位呈現成本結果。而旅行延時成本主要包括部分封閉還有安全封閉，本章節將花兩部分做介紹。

5.5.3.1旅行延時成本(部分封閉)

公式 5.5 為部分封閉的旅行延時成本計算公式，單位為(元/天)。

$$(\frac{L}{S_a}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times W\times NP \quad \text{..... (5.5)}$$

參數的名詞意義

L=維護影響的道路長度(Km)

Sa=維護時車行速度(Km/hr)

Sn=平日車行速度(Km/hr)

ADT=每日平均交通流量(輛/日)

W =旅行平均每小時時間價值(元/hr）

NP =平均乘載人數

參數說明：

L：為橋梁之長度。

Sa：依照 2012 年交通部公路總局快速公路施工交通管制手冊[46]之規定，相鄰兩最高速限標誌行車速度不得大於 20 公里，因此本計畫假設 Sa 為 Sn 速限降低 20 公里。

Sn: 依照交通部運輸研究所的第三期台灣地區運輸系統規劃-旅運特性與交通調查分析評估研究計畫(1995)[47]，其中，道路的平均車流速率可以依照道路等級設定，本計畫依道路類別區分道路等級，如表 5-16 所示，本計畫之橋梁所在道路類別有省級及縣級，因此根據橋梁所屬類別可找出各橋之平均自由車流速率。

表 5-16 道路等級與平均車流速率

道路等級	道路類別	自由車流速率(公里/小時)
2	(省級)主要道路	50
3	(縣級)主要道路	45

ADT：可查詢 TBMS 系統，部分資料缺漏部分將使用交通部公路總局公路統計資訊(2014)[48]公布各路段之車流量。

W：引用學者賴禎秀之研究[49]，按 2003 年運輸計畫季刊開車通勤者時間價值之模式研究，其考量可用時間、所得等各項限制條件，結果顯示車輛排隊等候時間價值每人約為每小時 98.8 元(經過基期換算後為每小時 115 元)。

N：由於橋梁可供不同車種之交通工具行駛如機車、汽車、大客車等，而各車種之平均載客數又不相同。本計畫依據運研所公路車輛行車成本調查(張杏珍，2000)[50]，統整出不同車種的平均載客數，如表 5-17 所示。並彙整中華民國交通部公路總局公路統計資訊(2014)[51]各區各車種之平均車流量，可算出各車種佔該區路線之百分比，最後乘上各車種之平均載客數，相加後得到該區之平均乘載人數。

表 5-17 各車種的平均載客數

車種	單位	機車	小型車	大客車	大貨車	聯結車
平均載客數	(人/車)	1.1	2	21.6	1.3	1.1

表 5-18 為各區工程處各車種之平均車流量，各車種可依照各區車種百分比乘上其平均載客數得到那一區之車種平均載客數。如二區工程處其平均乘載人數為 1.887 人。

表 5-18 各區各車種之平均乘載數

區域	項目	機車	小型車	大客車	大貨車	聯結車	總和
第一區	平均車流量	5296	10423	227	310	250	16505
	車種百分比	32.09%	63.15%	1.38%	1.88%	1.51%	1
	車種平均乘載數	0.353	1.263	0.297	0.024	0.017	1.954人
第二區	平均車流量	1516	3400	47	146	54	5163
	車種百分比	29.35%	65.84%	0.92%	2.83%	1.05%	1
	車種平均乘載數	0.323	1.317	0.198	0.037	0.012	1.887人
第三區	平均車流量	2311	2369	37	61	10	4788
	車種百分比	48.27%	49.47%	0.77%	1.28%	0.20%	1
	車種平均乘載數	0.531	0.989	0.167	0.017	0.002	1.706人
第四區	平均車流量	1439	4852	118	138	78	6626
	車種百分比	21.72%	73.23%	1.79%	2.09%	1.18%	1
	車種平均乘載數	0.239	1.465	0.386	0.027	0.013	2.129人
第五區	平均車流量	3158	6073	73	205	88	9597
	車種百分比	32.90%	63.28%	0.76%	2.14%	0.92%	1
	車種平均乘載數	0.362	1.266	0.165	0.028	0.010	1.830人

資料來源:本計畫整理

表 5-19 為橋梁 ID 編號 B04-0030-217A 至 B04-0030-220A 之相關數據，分別帶入上述公式 5.5 中，則可求出各橋梁之部分封閉造成旅行延時之成本，其中以橋梁 B04-0030-217B 為例，一天部分封閉造成之旅行延時成本為 75,078 元，而一台車之部分封閉旅行延時成本為 4.16 元，相較於其他橋梁此橋之橋長較長且車流量也較多，因此其部分封閉之延時成本大於其他橋梁。

表 5-19 旅行延時成本(部分封閉)

橋梁編號	B04-0030-217A	B04-0030-217B	B04-0030-217C	B04-0030-217D	B04-0030-220A
工程處	二區	二區	二區	二區	二區
工務段	南投	南投	南投	南投	南投
所在區鄉	名間	草屯	名間	名間	名間
L(Km)	0.0156	0.95	0.0063	0.09	0.0402
ADT(輛)	14,054	18,157	14,054	15,678	15,119
NP	1.887	1.887	1.887	1.887	1.887
Sn(Km/hr)	50	50	50	50	50
Sa(Km/hr)	30	30	30	30	30
W(元/小時)	173	173	173	173	173
旅行延時成本(元/天)	954.25	75,078	385.375	6,141.72	2,645.49
單位旅行延時成本(元/天)	0.068	4.16	0.027	0.392	0.175

5.5.3.2 旅行延時成本(完全封閉)

公式 5.6 為完全封閉的旅行延時成本計算公式，單位為(元/天)。

$$(\frac{L'}{S_n}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times W\times NP \quad \text{..... (5.6)}$$

L =維護影響的道路長度(Km)

L' =改道長度(Km)

Sn =平日車行速度(Km/hr)

ADT=每日平均交通流量(輛/日)

W =旅行平均每小時時間價值(元/hr）

NP=平均乘載人數

參數說明:

L': 為車輛行駛替代道路的長度。本計畫範疇之橋梁主要係使用TBMS系統上之資料，部分缺漏之資料則以查閱地圖之方式判定求得。

表 5-20 同樣為橋梁 ID 編號 B04-0030-217A 至 B04-0030-220A 之相關數據，分別帶入公式 5.6 中，可求出各橋梁之完全封閉造成之旅行延時成本，其中以橋梁 B04-0030-217A 為例，完全封閉一天造成之旅行延時成本為 273,835 元，而一台車完全封閉旅行延時成本為 19 元。另外，橋梁 B04-0030-217A 完全封閉之旅行延時成本大於其他橋梁，因相較於其他橋梁此橋梁改道額外所需的距離較長之緣故。

表 5-20 旅行延時成本(完全封閉)

橋梁編號	B04-0030-217A	B04-0030-217B	B04-0030-217C	B04-0030-217D	B04-0030-220A
工程處	二區	二區	二區	二區	二區
工務段	南投	南投	南投	南投	南投
所在區鄉	名間	草屯	名間	名間	名間
L(Km)	0.0156	0.95	0.0063	0.09	0.0402
L'(Km)	3	2.2	0.8	2.7	2.7

橋梁編號	B04-0030-217A	B04-0030-217B	B04-0030-217C	B04-0030-217D	B04-0030-220A
ADT(輛)	14,054	18,157	14,054	15,678	15,119
NP	1.887	1.887	1.887	1.887	1.887
Sn(Km/hr)	50	50	50	50	50
W(元/小時)	173	173	173	173	173
旅行延時成本(元/天)	273,835	148,180	72,826	267,165	262,555
單位旅行延時成本(元/天)	19	8	5	17	17

5.5.4 車輛運行成本 (Daily Vehicle Detouring Cost)

非直接成本因子類別的第二類為車輛運行成本。可能為道路施工管制期間，因工程需要橋梁必須全面封閉施工，此時原行駛車流將移轉到鄰近替代道路通行，或是因道路部分封閉造成車流速度降低或是交通擁塞，因而除了影響鄰近道路交通量，也同時增加了用路者行車成本。

車輛運行成本同旅行延時成本包括部分封閉還有安全封閉，本章節也將分成兩部分做介紹。

5.5.4.1 車輛運行成本 (部分封閉)

公式 5.7 為部分封閉的車輛運行成本計算公式，單位為(元/天)。

$$(\frac{L}{S_a} - \frac{L}{S_n}) \times ADT \times r \quad \text{..... (5.7)}$$

L =維護影響的道路長度(Km)

Sa=維護時車行速度(Km/hr)

Sn=平日車行速度(Km/hr)

ADT=每日平均交通流量(輛/日)

r=車輛平均每小時燃料及折舊成本為 13(元/小時)

參數說明:

r：車輛平均每小時燃料及折舊成本可根據文獻(張杏珍，2000)[52]車輛燃料耗費率表之「小客車」車種，將「燃料消耗費」24,543元/

年、「油料保養費」5,011元/年、「折舊費」70,478元/年等三項進行加總，再將單位換算成「元/小時」，獲得車輛平均每小時燃料及折舊成本為11.42元/小時，再經由基期轉換約為每小時13元。

表 5-21 為橋梁 ID 編號 B04-0030-217A 至 B04-0030-220A 之相關數據，分別帶入公式 5.7 中，可求出各橋梁部分封閉造成之旅行延時成本，其中以橋梁 B04-0030-217B 為例，部分封閉一天造成之車輛運行成本為 2989 元，而一台車之部分封閉車輛運行成本為 0.165 元，相較於其它橋梁此橋之橋長較長且車流量也較多，因此其部分封閉之車輛運行成本大於其他橋梁。

表 5-21 車輛運行成本(部分封閉)

橋梁編號	B04-0030-217A	B04-0030-217B	B04-0030-217C	B04-0030-217D	B04-0030-220A
工程處	二區	二區	二區	二區	二區
工務段	南投	南投	南投	南投	南投
所在區鄉	名間	草屯	名間	名間	名間
L(Km)	0.0156	0.95	0.0063	0.09	0.0402
ADT(輛)	14,054	18,157	14,054	15,678	15,119
Sa(Km/hr)	30	30	30	30	30
Sn(Km/hr)	50	50	50	50	50
r(元/小時)	13	13	13	13	13
車輛運行成本(元/天)	38	2,989	15	244	105
單位車輛運行成本(元/天)	0.003	0.165	0.001	0.016	0.007

5.5.4.2 車輛運行成本(完全封閉)

公式 5.8 為完全封閉的車輛運行成本計算公式，單位為(元/天)。

$$\left(\frac{L'}{S_n}-\frac{L}{S_n}\right)\times ADT\times r \quad \text{..... (5.8)}$$

L =維護影響的道路長度(Km)

L' =改道長度(Km)

Sn =平日車行速度(Km/hr)

ADT=每日平均交通流量(輛/日)

r =車輛平均每小時燃料及折舊成本(元/小時)

表 5-22 為橋梁 ID 編號 B04-0030-217A 至 B04-0030-220A 之相關數據，分別帶入公式 5.8 中，可求出各橋梁完全封閉造成之車輛運行成本，其中以橋梁 B04-0030-217A 為例，完全封閉一天造成之車輛運行成本為 10,905 元，而一台車之完全封閉車輛運行成本為 0.776 元。

表 5-22 車輛運行成本(完全封閉)

橋梁編號	B04-0030-217A	B04-0030-217B	B04-0030-217C	B04-0030-217D	B04-0030-220A
工程處	二區	二區	二區	二區	二區
工務段	南投	南投	南投	南投	南投
所在區鄉	名間	草屯	名間	名間	名間
L	0.0156	0.95	0.0063	0.09	0.0402
L'	3	2.2	0.8	2.7	2.7
ADT(輛)	14,054	18,157	14,054	15,678	15,119
Sn	50	50	50	50	50
r(元/小時)	13	13	13	13	13
車輛運行成本(元/天)	10,905	5,901	2900	10,639	10,455
單位車輛運行成本(元/天)	0.776	0.325	0.21	0.679	0.691

5.5.5 事故發生成本(Accident Occurrence Cost)

非直接成本因子類別的第三類為事故發生成本。當駕駛人行駛於道路時就會有發生事故的可能，當事故一旦發生即可能造成使用者生命財產之損失。經由文獻[45]可得知施工期間施工區肇事機率無明顯增加(An=Aa)，因此本計畫不考慮橋梁部分封閉之事故發生成本，僅考慮完全封閉車輛行駛替代道路造成之事故發生成本。計算公式之相關參數解釋如下。

$$(L' - L) \times ADT \times A_n \times C_a \quad \text{..... (5.9)}$$

L =:維護影響的道路長度(Km)

L' =改道長度

ADT=每日平均交通流量(輛/日)

An=車輛事故發生率（次/百萬輛公里）

Ca=每次事故成本=每次事故(受傷+死亡)成本(元/次）

參數說明:

An：從交通部交通統計月報之道路交通事故及違規概況[51]，如表5-23所示統計，車輛交通事故97年~102年每年的平均肇事率為102.34次/萬輛，且每輛車一年之駕駛里程為12,808公里資料來自自用小客車使用狀況調查報告(交通部統計處，2011)[52]，兩者相除後可得到車輛事故發生率為0.799次/百萬輛公里，如公式5.10所示。

$$\text{An} = \frac{\text{年肇事率}}{\text{汽車年平均行駛里程}}$$
$$= \frac{102.34 \text{ 次/萬輛/年}}{12{,}808 \text{ 公里/年}} = \frac{0.010234 \text{ 次/輛/年}}{12{,}808 \text{ 公里/年}}$$
$$= 0.799 \text{ 次/百萬輛公里} \quad \text{..... (5.10)}$$

Ca: 每次事故成本可以分成交通事故受傷成本與交通事故死亡成本。由97年~102年交通統計月報之道路交通事故及違規概況[53]，可得知每次事故平均造成0.0093人死亡與約1.33568人受傷，如表5-23所示。

表 5-23 97 年~102 年肇事率、死亡率與受傷率統計

交通事故統計						
年份	件數	死亡	受傷	肇事率	事故死亡率	事故受傷率
單位	(件)	(人)	(人)	(件/萬輛)	(死亡人次/事故件數)	(受傷人次/事故件數)
97 年	170,127	2,224	227,423	81.39	0.01307	1.33678
98 年	184,749	2,092	246,994	87.01	0.01132	1.33692
99 年	219,651	2,047	293,764	101.94	0.00932	1.33741
100 年	235,776	2,117	315,201	107.3	0.00898	1.33687
101 年	249,465	2,040	334,082	111.94	0.00818	1.33919
102 年	273,234	1,928	362,562	124.45	0.00706	1.32693
平均	222,167	2,075	296,671	**102.34**	**0.00934**	**1.33568**

交通事故死亡成本部分，從陳高村學者「道路交通事故賠償金額推估之研究」[27]，可得知每人死亡之生命價值約為 10,378,000 元，因此，每次事故造成之死亡率乘上每人死亡之生命價值後，可得到每次事故的死亡損失約為 96,515 元/次。

交通事故受傷成本部分，根據[48]資料收集，如表 5-23 所示可得到每次事故約造成 1.3359 人受傷，其中交通事故受傷的程度可分為輕度、中度、重度、殘疾等。又從陳孜穎學者文獻「交通事故賠償金額之研究」(2012)[53]，根據各傷害程度占受傷之百分比，可對應至文獻「道路交通事故賠償金額推估之研究」[27]，求得各傷害程度之受傷成本。因此，可算出交通事故受傷總成本約為 468,775 元，如表 5-24 所示。最後，將每次事故造成之平均受傷人次乘上受傷總成本後，可概算出每次事故發生受傷損失約為 626,236 元/次。

表 5-24 交通事故受傷程度統計

	交通事故受傷程度統計			
受傷程度	輕度	中度	重度	殘疾
各受傷程度人次	187	305	56	62
百分比(各傷害等級權重)	31%	50%	9%	10%
受傷事故成本	56,016	283,885	885,246	2,247,083
各程度事故受傷成本	17,172	141,943	81,268	228,392
交通事故受傷總成本	468,775			

將每次事故的死亡損失 96,515 元/次與每次事故的受傷損失 626,236 元/次，兩者相加後，可估算出每次事故成本(受傷+死亡)約為 722,751 元/次，在經過基期的換算後(2000 年至 2014 年)，最後可得每次事故成本約為 835,968 元/次。如公式 5.11 所示。

Ca=死亡損失+受傷損失 ……..(5.11)

=96,515元/次+626,236元/次

=722,751元/次 =>835,968元/次(基期轉換)

表5-25為橋梁ID編號B04-0030-217A至B04-0030-220A之相關數據，分別帶入公式5.11中，可求出各橋梁完全封閉造成之事故發生成本，其中以橋梁B04-0030-217A為例，完全封閉一天造成之事故發生成本為28,015元，而一台車完全封閉事故發生成本為2元/天。

表 5-25 事故發生成本(完全封閉)

橋梁編號	B04-0030-217A	B04-0030-217B	B04-0030-217C	B04-0030-217D	B04-0030-220A
工程處	二區	二區	二區	二區	二區
工務段	南投	南投	南投	南投	南投
所在區鄉	名間	草屯	名間	名間	名間
L(Km)	0.0156	0.95	0.0063	0.09	0.0402
L'(Km)	3	2.2	0.8	2.7	2.7
ADT(輛)	14,054	18,157	14,054	15,678	15,119
An(次/百萬輛公里)	0.0000008	0.0000008	0.0000008	0.0000008	0.0000008
Ca(元/次)	835,968	835,968	835,968	835,968	835,968
事故發生成本(元/天)	28,015	15,159	7,451	27,332	26,861
單位事故發生成本(元/天/輛)	2	1	1	2	2

5.5.6 用路人直接成本小結

綜合上述各節成本計算流程結果，可彙整公路總局所管理的 2590 座橋梁之用路人直接成本，表 5-26 為二區工程處之部分封閉與完全封閉之用路人直接成本。

而用路人成本計算公式可參照式 3.3，分成部分封閉與完全封閉，將部分封閉部分乘上維護機率，與完全封閉部份乘上重建機率，兩者取平均再乘上施工天數即可求得 E(UC)。本計畫將施工天數部分參考文獻「桃園市編號道路(鄉道)橋梁資料調查及檢測期末報告」[54]，其概估小於 50 公尺之橋梁維護工期約為一周，橋長 50 至 100 公尺工期為兩周，而大於 100 公尺以上之長橋則約為一個月，因此本計畫比照此方法計算，如橋梁 B04-0030-217A 其橋長為 156 公尺因此假設其工期為一個月，參照表 5-27。

表 5-26 用路人直接成本概算結果(以二區工程處為例)

橋名	工務段	所在區鄉	更新後車流	替代道路 (km)	橋長 (km)	旅行延時成本		車輛運行成本		事故成本	用路人成本總和
						部分封閉	完全封閉	部分封閉	完全封閉	完全封閉	
萬年橋-台 14 線	埔里	仁愛	960	10.983	0.0119	192	40,887	12	2,449	6,293	55,520
大庄橋-苗栗	苗栗	後龍	9,620	0.35	0.044	204	4,564,767	8	181,779	467,008	23,867
山下橋	苗栗	頭份	9,620	0.85	0.009	681	4,564,053	27	181,751	466,935	60,722
蟠桃橋	苗栗	頭份	9,620	0.45	0.0066	1,021	4,563,542	41	181,730	466,883	32,095
尖山大橋	苗栗	頭份	11,038	4.9	0.432	1,226	4,563,236	49	181,718	466,851	389,344
後龍溪橋	苗栗	後龍	12,013	7.2	0.34	6,128	4,555,882	244	181,425	466,099	633,010
尖山陸橋	苗栗	頭份	9,620	0.9	0.04	2,259	3,783,620	90	150,672	387,091	63,435
尖山下橋	苗栗	頭份	9,620	1.9	0.0104	77	3,342,803	5	200,255	514,476	136,006
公館仔橋	苗栗	頭份	9,620	1.9	0.035	240	2,684,050	10	106,885	274,597	135,312
南港溪橋	苗栗	竹南	9,620	2.8	0.075	5,065	2,676,814	202	106,597	273,857	198,747
談文橋	苗栗	造橋	9,620	0.35	0.01	1,571	1,968,741	63	78,400	201,416	24,826
九車籠橋	苗栗	造橋	9,620	8	0.0105	1,571	1,968,741	63	78,400	201,416	573,594
後壁厝橋	苗栗	後龍	9,620	2.5	0.01	2,857	1,966,813	114	78,323	201,219	179,059
南社橋	苗栗	後龍	9,620	2.3	0.0349	2,999	1,966,599	119	78,314	201,197	164,009
大埔橋	苗栗	西湖	9,620	1.4	0.03	116,214	1,671,054	4,628	66,545	170,961	99,585
⋮											⋮
美田橋	臺中	清水區	23,431	0.75	0.03	293	382,696	12	15,240	39,153	91,030
清秀橋	臺中	清水區	23,431	3.1	0.036	1,336	353,922	80	21,202	54,470	380,795
中華陸橋-台一線	臺中	梧棲區	23,431	0.75	0.3016	149,678	233,756	5,961	9,309	23,915	110,331
安良橋	臺中	龍井區	23,431	1.8	0.03	797	362,947	32	14,453	37,132	312,444
山腳橋	臺中	龍井區	23,431	1.1	0.135	6,281	354,872	250	14,132	36,306	128,816
龍田陸橋	臺中	龍井區	23,431	0.75	0.44	17,377	338,227	692	13,469	34,603	69,882

表 5-27 橋梁 ID 編號 B04-0030-217A 至 B04-0030-220A 各年度橋梁用路人成本

橋梁用路人成本	橋齡	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$P_{MD}*C_S'$ $+P_{MS}*C_S'$ $+P_{ME}*C_S'$	B04-0030-217A	2	15	30	38	42	45	46	54	57	69	152	290	300	302	304	306	316	314	315	319
	B04-0030-217B	2	3	5	6	9	9	12	14	16	18	20	21	23	27	28	32	36	37	39	48
	B04-0030-217C	1	4	5	6	8	10	13	16	20	24	25	26	27	30	31	33	38	39	40	41
	B04-0030-217D	36	50	77	88	91	93	132	131	147	165	252	385	394	402	412	420	420	432	429	442
	B04-0030-220A	4	22	33	38	47	54	56	58	62	68	153	292	307	310	309	313	317	319	316	316
P_S*C_S $+P_E*C_S$	B04-0030-217A	964	964	964	964	1,928	1,928	3,856	3,856	3,861	3,871	3,879	4,842	4,833	4,838	4,847	4,849	4,951	4,889	4,908	4,902
	B04-0030-217B	0	0	0	0	0	0	0	0	9	10	17	9	13	25	12	41	79	74	78	103
	B04-0030-217C	0	0	0	0	0	0	0	0	7	21	17	15	17	14	15	25	83	102	93	82
	B04-0030-217D	16	29	1,008	1,021	1,036	1,041	2,261	3,237	4,309	4,383	5,397	7,377	7,366	8,417	10,430	11,472	12,451	15,506	17,335	19,421
	B04-0030-220A	0	0	0	0	0	0	0	0	16	969	987	986	1,955	1,950	1,936	2,908	3,948	3,986	3,929	3,933
E(UC)	B04-0030-217A	3,382	3,426	3,478	3,506	6,896	6,904	13,656	13,684	13,710	13,791	14,107	17,959	17,966	17,989	18,029	18,041	18,433	18,211	18,279	18,275
	B04-0030-217B	34	43	77	95	129	137	180	206	376	426	550	458	549	789	588	1,098	1,723	1,664	1,760	2,256
	B04-0030-217C	4	14	16	20	28	34	46	56	95	155	146	144	153	156	161	203	422	494	464	431
	B04-0030-217D	367	553	7,596	7,757	7,887	7,937	16,748	23,581	31,194	31,836	39,542	54,339	54,318	61,734	75,896	83,239	90,097	111,560	124,350	139,044
	B04-0030-220A	14	76	114	134	164	190	196	204	275	3,630	3,990	4,472	7,917	7,907	7,855	11,275	14,927	15,064	14,857	14,870

第六章　群橋維護成本最佳化

本章將介紹本模式之目標式與限制式，本模式分別是在橋梁管理單位有限維護預算下，搜尋群橋生命週期最佳維護時機與最小成本。本階段建立群橋成本維護最佳化模式，在二十年橋梁的壽齡中，各橋梁在不同時機維護，其損壞機率與維護成本不同，群橋維護之時間點組合方案眾多，難以估計，若以傳統試誤法等方式求解，將無法在短時間內求得。因此本計畫擬使用生物共生演算法(SOS)，分別計算不同維護方案之風險影響程度，再以最佳化模式找出群橋生命週期總風險成本最低之維護組合。其方法以保持生物共生時的多樣性及加速收斂的效果，搜尋最佳化結果，使得群橋維護總成本最低，如此橋梁管理單位即可依此規劃長程群橋之維護策略，以便將有限資源做最有效運用。

本章共分成三部分做介紹，分別為建立目標函數與限制式、生物共生演算法最佳化搜尋以及群橋生命週期維護成本最佳化。流程如圖 6.1 所示。

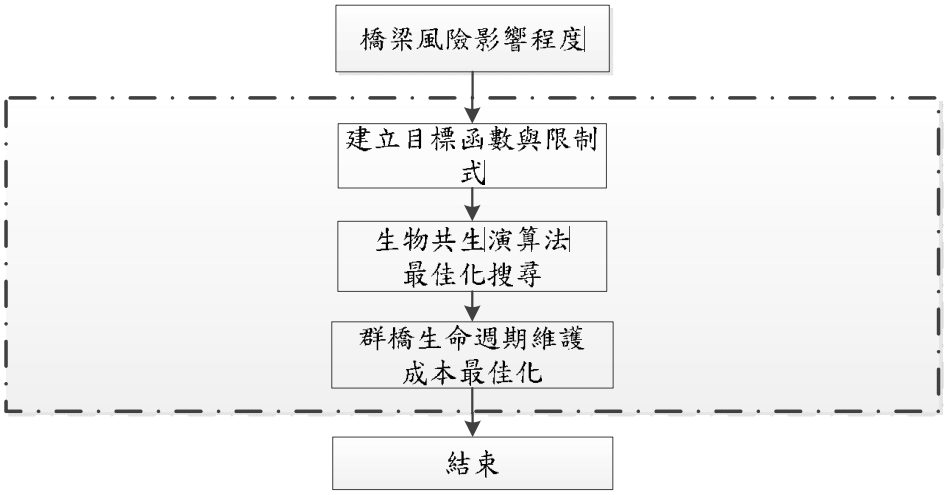


圖 6.1 群橋維護成本最佳化流程圖

6.1 建立目標函數與限制式

6.1.1 群橋最佳化模式之目標方程式

將各橋之風險期望成本 E_B(Cost)加總可得到群橋風險期望成本

E_{GT}(Cost)，E_B(Cost)之計算方式如公式 3.1 所示，而群橋維護最佳化之目標方程式，係以各工程處之預算為限制條件(式 6.1)，找出群橋生命週期最小的風險期望成本 E_{GT}(Cost)，如公式 6.1。

$$\text{Min}E_{GT}(\text{Cost}) = \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} E_{Bij}(\text{Cost}) \quad \text{.....(6.1)}$$

6.1 式中:

E_{GT}(Cost) :群橋風險成本(Total Risk Cost of Group Bridges)

$\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} E_{Bij}$(Cost) :同一工程處各橋梁 j,與 i 年內之風險成本總和。

6.1.2 群橋最佳化模式之限制式

本模式之限制式為橋梁管理單位的維護預算，以第 i 年為例，最佳化需滿足第 i 年之預算限制(如式 6.2)。在生物共生演算法最佳化搜尋過程中會用隨機組合之方式，來找出滿足最小群橋風險成本 E_{GT}(Cost)同時又滿足限制式的維護策略。

For i=1 to 20

Subject to $\sum_{j=1}^{m} E_{ij}(MC) \le B_i$ ..... (6.2)

END

6.2 式中

M：工程處轄區混凝土橋梁總數

Bi：第 i 年度預算(Budget)

J：為同一橋管單位之第 j 座橋梁

i 某段期間橋梁的使用年限，本計畫 i=1~20 年(本計畫維護策略設定為 20 年,不過也可依橋管單位設定求得 20,25,30 年之維護策略)。

6.2 生物共生演算法最佳化搜尋

6.2.1 生物共生演算法

現今的啟發式演算法通常是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；遺傳算法 GA(Genetic Algorithm)模擬自然進化的過程，粒子群優化算法 PSO(Particle Swarm Optimization)模擬動物群聚行為。而生物共生搜尋演算法 SOS 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，SOS 演算法主要的特點是可以解決空間維度連續數值的最佳化搜尋。

本計畫使用之生物共生搜尋演算法（SOS），其靈感來自生然生態系統中生物之間的互動模式，SOS 主要使用三種計算策略分別為互利共生、片利共生和寄生，以模擬自然生態的共生模式。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，相較於同類演算法，SOS 不使用微調的參數，並提高了性能的穩定性，即使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之問題，其在尋優與運算時間表現均優於目前被廣為應用之基因演算法(Genetic Algorithms，GA)與粒子群演算法(Particle Swarm Optimization，PSO)。

6.2.2 SOS演算法在群橋維護策略應用流程

生物共生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，生物群中的每一個生物體代表一個對應問題的候選解，同時每一個生物體在生態系統中也代表一組目標適存值(Fitness value)，這個目標適存值會反映預期目標的適存程度。本計畫使用 Matlab 撰寫群橋最佳化之程式，應用流程如圖 6.2，首先是橋梁相關參數輸入，再來是最佳化 SOS 搜尋，最後是群橋維護策略最佳方案輸出。SOS 詳細演算流程如圖 6.3 所示。

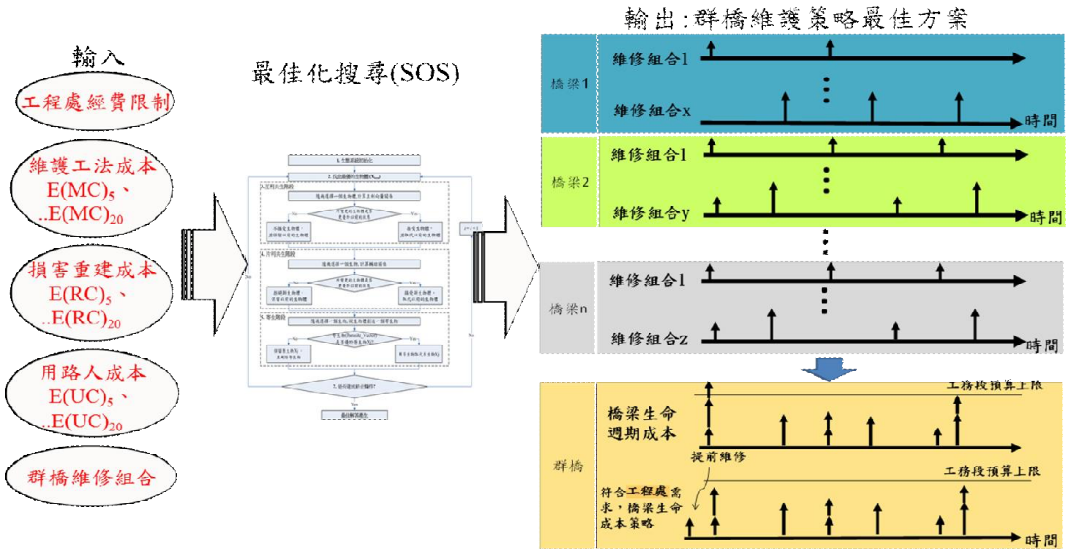


圖 6.2 群橋最佳化應用 SOS 演算法程序

橋梁相關參數輸入

首先在程式中輸入工程處經費限制，本計畫以二區工程處為例，年平均值為 1,407,154,097 元/年(參照表 2-6)，本計畫再加入兩個標準差作為搜尋之預算限制，因此二區工程處之年維護預算約為 3,780,217,329 元/年。接著執行程式，程式自動輸入相關參數彙整資料如 E(MC)、E(RC)、E(UC)等，如表 6-1 所示。接著進入到 SOS 演算法詳細演算流程，如圖 6.3 所示。

表 6-1 橋梁相關參數彙整(節錄)

ID	E(MC)1	E(MC)2	E(MC)3	E(MC)4	E(MC)5	E(MC)6	E(MC)7	E(MC)8	E(MC)9
B01-0010-010A	1,328,270	1,800,995	2,179,175	2,651,900	2,935,535	3,030,080	3,030,080	3,124,625	3,227,619
B01-0010-091A	19,233	48,418	150,565	208,935	362,802	746,973	768,215	811,993	826,585
B01-0010-092A	151,915	387,555	579,013	755,743	785,198	1,020,838	1,183,793	1,655,382	1,817,244
B01-0010-097A	4,640	8,644,640	23,764,640	29,164,640	35,649,405	37,817,348	43,212,582	47,529,405	49,690,994
B01-0010-097E	2,724,640	12,244,640	13,604,640	20,404,640	21,764,640	23,124,640	28,564,640	34,004,640	40,807,206
B01-0010-097C	1,664,860	4,198,880	6,296,000	8,130,980	8,742,640	9,529,060	11,889,851	12,678,135	13,726,232
B01-0010-098A	81,990	217,353	314,040	449,403	497,608	687,806	763,568	977,869	1,095,482
B01-0010-098E	537,760	1,537,360	2,403,680	3,403,280	4,336,240	5,135,920	5,277,788	5,945,261	6,017,748
B01-0010-099A	942,140	2,442,140	4,692,140	5,067,140	6,005,151	6,754,756	7,130,120	7,694,029	9,192,703
B01-0010-101A	4,640	23,865	23,865	43,090	62,973	62,981	63,110	160,174	181,348
B01-0010-103A	46,185	150,047	191,592	253,910	358,707	420,505	586,649	710,997	815,056
B01-0010-108A	25,168	168,860	292,025	394,663	478,784	621,695	662,024	1,031,984	1,113,647
B01-0010-112A	4,640	871,303	1,501,603	1,974,328	2,456,583	2,686,592	3,009,684	3,238,104	3,398,856
B01-0010-116A	64,215	123,790	540,815	659,965	957,840	1,434,440	1,791,890	2,089,765	2,390,344
B01-0010-117A	7,024,640	17,554,640	20,674,640	26,524,640	33,934,640	40,564,640	44,854,640	47,974,640	57,730,994
B01-0010-118A	194,303	421,898	763,290	1,066,750	1,229,599	1,526,705	1,754,300	1,942,374	2,290,121
B01-0010-125A	56,703	264,953	369,078	785,578	1,364,619	1,727,468	2,043,020	2,298,567	3,030,619
B01-0010-126A	203,218	534,180	997,528	1,328,490	2,122,800	2,850,918	2,983,303	3,380,458	3,645,698
B01-0010-131A	724,640	1,264,640	1,804,640	2,704,640	5,055,759	5,590,994	6,678,936	7,394,171	8,469,405
B01-0010-132A	1,159,640	1,621,640	2,314,640	3,238,640	3,931,640	4,162,640	14,431,345	17,345,237	21,030,929
B01-0010-132E	206,008	474,498	608,743	810,110	944,355	1,279,968	1,749,825	2,152,560	2,219,849

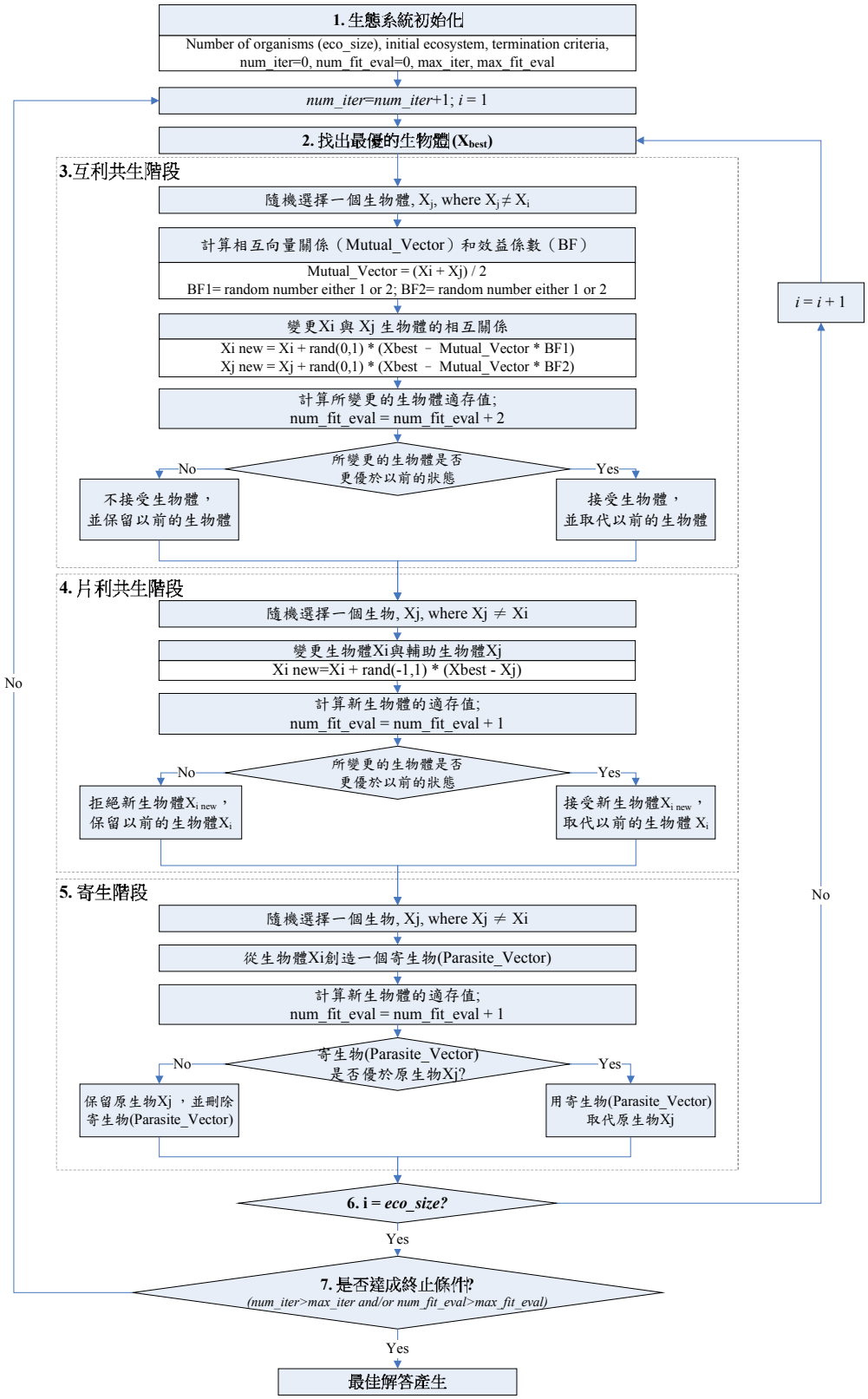


圖 6.3 SOS 演算法程序

步驟1. 生物系統初始化

設定生物體數量與邊界條件

本計畫將設定 SOS 演算法中的生物體數量為 50 個,且每一個生物體即代表一種維護策略組合。因此，本階段會以隨機的方式產生這 50 個生物體的維護策略組合，後續在疊代的過程中各生物體之間，會在 SOS 的共生行為中，互相影響維護策略的組合。

以二區工程處為例，二區工程處橋梁數量總共有 647 座，其生命週期之規畫以 20 年為例的話,其結果將會有 12940 個欄位(即 647 乘以 20 等於 12940),然後這 12940 的欄位會有 12940 的平方種組合(因本程式假設維護或不維護是應用二進制之方法為 0 與 1,因此為平方關係)。因 SOS 演算法最佳化搜尋的空間維度特性主要為連續數值，且因本課題維護或不維護為二進制之問題，因此需要將連續數值轉換為二進制(如: 連續數值 42 轉換二進制結果為 0011010000110010)其中 0 代表不需維護、1 即代表需維護。

步驟2. 找出最優的生物體(Xbest)

此步驟將會在迭代過程中找出最好的適存值維護策略紀錄。

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，彼此互助互惠生存的關係，像是蜜蜂與花，蜜蜂在花朵間飛舞採花蜜，這個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的第 i 個成員，且 Xi 在每次的疊代過程中都會輪流轉換，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會互助互惠，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 Xinew 和 Xjnew 如式(6.3)式(6.4)。

$$X_{i\text{new}} = X_i + rand(0,1) * (X_{best} - Mutual\_Vector * BF_1) \quad \text{..... (6.3)}$$

$$X_{j\,\mathrm{new}} = Xj + rand(0,1) * (X_{best} - Mutual\_Vector * BF_2) \quad \text{(6.4)}$$

在這裡利益因素(BF_1、BF_2)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 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，生物體才會被更新，如 Xi new 的適存值優於 Xi 的適存值，即 Xi 的維護策略會被 Xi new 取代。

$$Mutual\_Vector = \frac{X_i + X_j}{2} \quad \text{(6.5)}$$

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，互利共生階段的生物體 Xj 為從生態系統中被隨機挑選出來與生物體 Xi 互動的生物體。在這種情況下，生物體 Xi 試圖從互動中受益。然而，生物體 Xj 本身既無好處也無壞處。新的候選解 Xi 是根據 Xinew 和 Xj 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 Xi 只有當它新的適用值比其之前適用值更好才會更新。即程式會隨機產生一介於-1 至 1 的數值，該數值會乘上步驟二已找出的 Xbest，之後再加上 Xi 得到新的適存值，如 Xi new 的適存值優於 Xi 的適存值，即 Xi 的維護策略會被 Xi new 取代。

$$X_{i\,\mathrm{new}} = X_i + rand(-1,1) * (X_{best} - X_j) \quad \text{(6.6)}$$

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 Xi 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 Xi，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 Xj，Xj 作為主導寄生蟲載體。在生態系統中寄生蟲載體嘗試取代 Xj。這兩種生物體評估與衡量自己的適存值。如果寄生蟲載體有更好的適存值，它會殺死生物體 Xj，並取代其在生態系統中的地位。如果 Xj 有更好的適存值，Xj 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，公式如 6.7 所示。

$$\begin{aligned}&\text{IF FitnessValue(Parasite\_Vector)} > \text{FitnessValue}(X_j) \quad \text{THEN } X_j = X_j \\ &\text{IF FitnessValue(Parasite\_Vector)} \le \text{FitnessValue}(X_j) \quad \text{THEN } X_j = \text{Parasite\_Vector}\end{aligned} \quad .. (6.7)$$

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。本計畫之迭代次數為 1500 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 群橋維護最佳化目標、最佳維護策略與 E(MC)橋梁維護風險成本。

6.3 群橋生命週期維護成本最佳化

本計畫導入生命週期成本導向之概念，建置群橋維護策略最佳化模式，如圖 6.4 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，即維護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，求得橋梁殘餘能力，再依照前述之計算成果與第三章之計算公式求得群橋各橋梁各年度之 E(MC)、E(RC)與 E(UC)，並加總求得生命週期維護風險成本 E_B(Cost)，最後在符合維護預算限制下，找出最小之 E_{GT}(Cost)，來決定工程處各橋梁因年限、外力影響受損之最佳維護時機，如圖 6.5 所示。

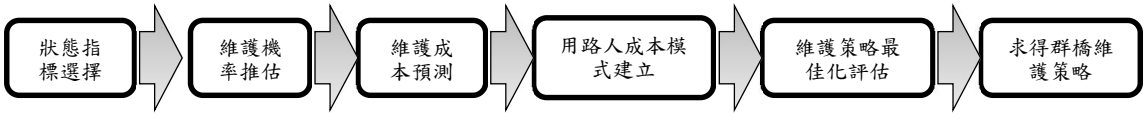


圖 6.4 群橋維護策略最佳化模式流程

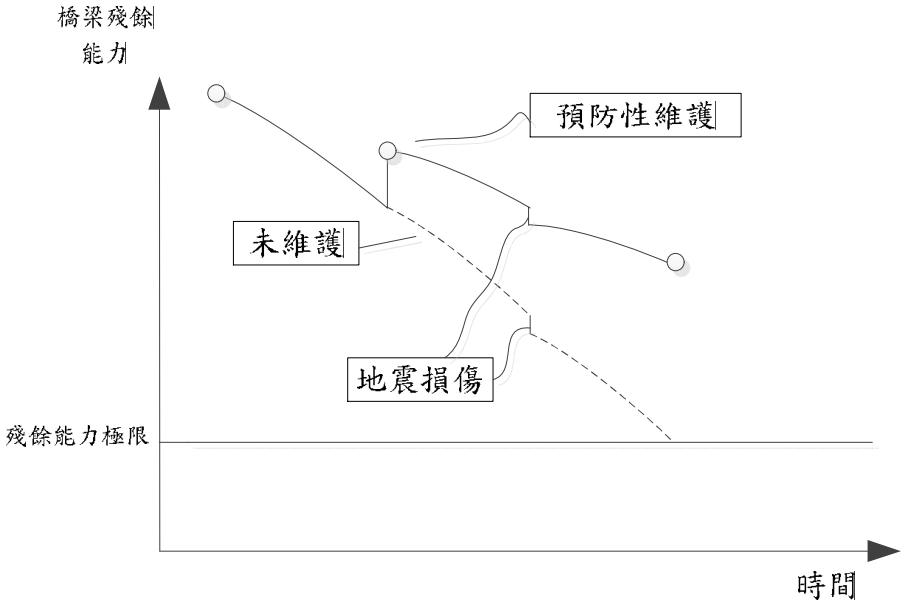


圖 6.5 橋梁維護策略示意圖

6.3.1 群橋維護成本最佳化策略訂定

最佳化策略訂定之目標方程式為公式 6.1，而限制式為公式 6.2。最佳化之過程會隨機決定每一年橋梁維護之方案，如圖 6.6。以二區工程處為例，二區工程處目前總共管理 647 座橋梁，其橋梁維護方案有多種維護組合，假設第一次維護策略組合方案為 A 橋梁於第 4 年與 12 年各修一次，B 橋梁維護策略為第 4 年、6 年、13 年各修一次，以此類推至第 j 座橋梁，因此第一次的維護策略組合將會求得 $E_{GT}(Cost)_1$，以此類推至完成至第 k 次最佳化之疊代，即可由 k 次 $E_{GT}(Cost)_k$ 中找出最小之維護策略。

基本假設部分，第四章中，各橋梁未來 CI 推論值可經由蒙地卡羅求得，如表 6-2 所示。如果橋梁經過維護後，CI 值將回復至 100 分，但耐震與耐洪能力恢復至原橋梁強度之 90%(饒珉菘，2002)[55]。且維護前後，橋梁劣化斜率皆相同。以橋梁編號 B04-0030-217A 為例，在第一次維護時，橋齡在第 1 年，CI 值參照表 6-2 得知為 97.2 分，若橋齡在第 5 年時進行維護，其 CI 值由 91.5 回復至初始值 100 分，隨著時間增加，若第二次維護在壽齡第 8 年則 CI 值將由 100 分向下遞減為 94.3 分，若再經過 7 年仍未維護其 CI 值降至 84.5 分，以此類推。

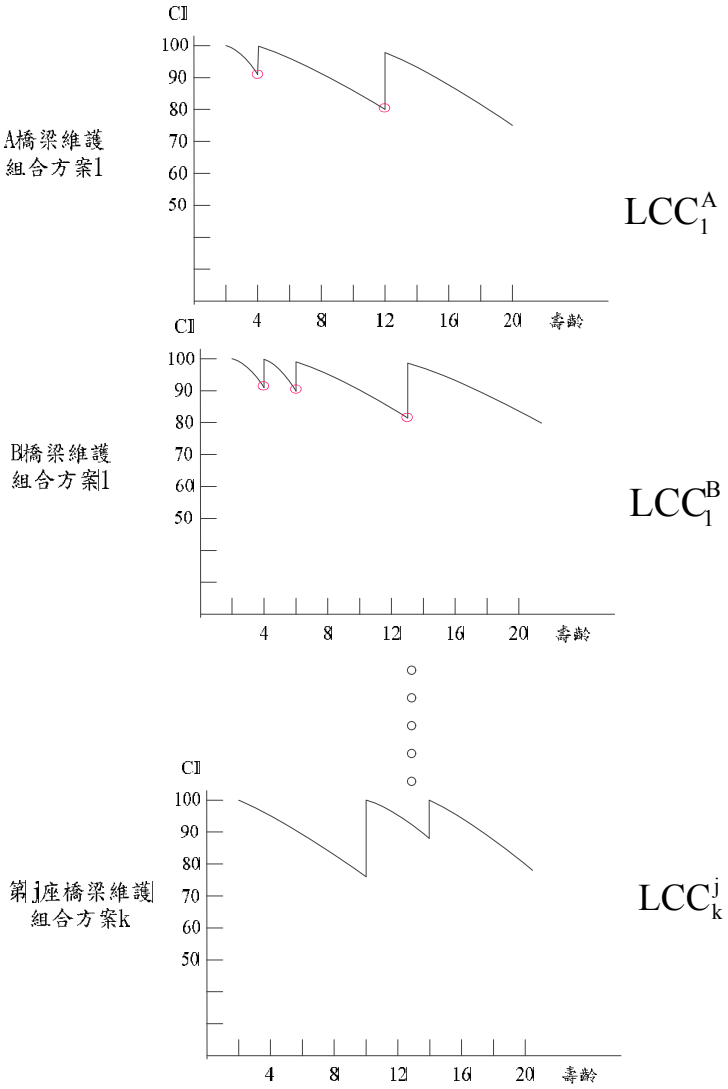


圖 6.6 橋梁維護組合方案

表 6-2 橋梁編號 B04-0030-217A 至 B04-0030-220A 生命週期 CI 值

	橋齡 / 橋梁 ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
CI 值下降趨勢	B04-0030-217A	97.2	95.8	94.3	92.9	91.5	90.1	88.7	87.3	85.9	84.5	83.1	81.6	80.3	78.9	77.5	76.1	74.6	73.2	71.8	70.4
	B04-0030-217B	97.2	95.9	94.4	93.0	91.6	90.3	88.9	87.5	86.0	84.6	83.2	81.8	80.4	78.9	77.5	76.1	74.7	73.3	71.9	70.5
	B04-0030-217C	97.2	95.9	94.5	93.0	91.7	90.2	88.8	87.4	86.0	84.6	83.2	81.8	80.4	79.0	77.7	76.3	74.9	73.5	72.1	70.7
	B04-0030-217D	97.2	95.7	94.3	92.9	91.5	90.1	88.7	87.3	85.9	84.4	83.0	81.6	80.1	78.8	77.4	76.0	74.6	73.2	71.8	70.4
	B04-0030-220A	97.7	96.5	95.3	94.2	93.0	91.9	90.7	89.5	88.4	87.2	86.1	84.9	83.7	82.6	81.4	80.2	79.1	77.9	76.8	75.6

最後，代入式 3.1 可求得各年度橋梁風險期望成本 E_B(Cost)。SOS 會由同一工程處所有橋梁 E_B(Cost)加總所得之 E_{GT}(Cost)中，在小於預算限制式下，搜尋金額最低之成本組合，進而找出適合之維護策略。

本計畫以二區工程處為例，群橋生命週期 20 年之維護策略計算結果如表 6-3 所示。其中，二區工程處管理橋梁數量為 647 座，預算限制為每年 3,780,217,329 元(平均值加上兩倍標準差)。另外，本計畫成本計算部分皆考慮基期的影響。

如圖 6.7 所示，目標函數最佳化搜尋結果中的 X 軸為疊代次數、而 Y 軸為最佳化之目標函數 Min E_{GT}(Cost)。由此可知二區工程處在每個年度皆滿足預算限制下，20 年的維護策略 Min E_{GT}(Cost)為 41,278,150,716 元。如表 6-3 所示。其維護策略為第一年維護 269 座、第二年維護 280 座、以此類推、第 20 年維護 260 座，由此可估計每一年平均維護的橋梁數量為 295 座。

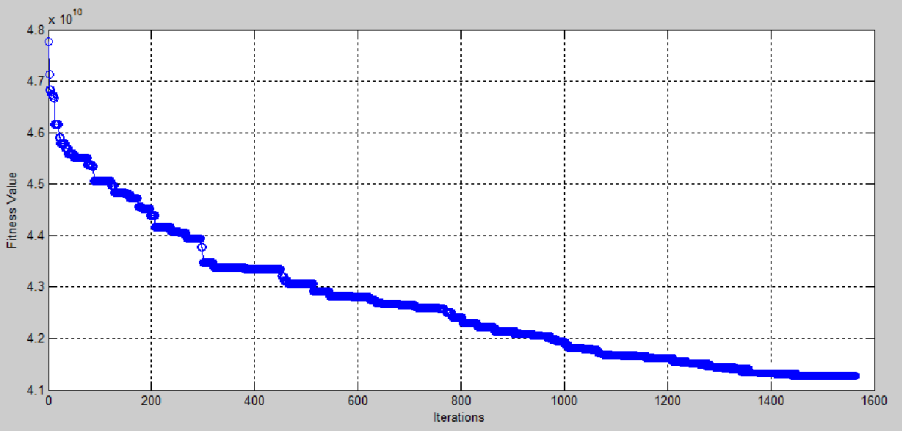


圖 6.7 最佳化搜尋目標函數結果

表 6-3 二區工程處橋梁 B01-0010-010A 至 B08-0760-026B 生命週期 20 年維護策略

ID	E(MC)1	E(MC)2	E(MC)3	E(MC)4	E(MC)5	E(MC)6	E(MC)7	E(MC)8	E(MC)9	E(MC)10	●●●●	E(MC)17	E(MC)18	E(MC)19	E(MC)20	Ej(Cost)
B01-0010-010A	1,330,494	1,333,695	-	1,816,265	1,343,344	-	-	-	-	3,001,983		-	-	3,372,605	1,392,645	13,605,096
B01-0010-091A	-	-	-	-	-	363,912	-	-	-	-		-	-	-	-	782,450
B01-0010-092A	148,305	-	-	579,565	-	-	583,758	-	-	587,981		-	-	1,062,189	-	3,420,739
B01-0010-097A	-	-	-	23,999,776	-	-	-	-	24,289,859	-		-	9,070,445	-	-	96,990,233
B01-0010-097B	2,773,040	2,779,711	-	12,381,976	2,799,822	-	12,471,556	-	12,531,636	2,833,663		21,254,692	2,888,661	2,895,611	-	84,261,017
B01-0010-097C	1,666,460	1,670,469	-	4,230,869	1,682,554	1,686,602	-	4,271,730	1,698,804	-		-	-	-	-	28,504,626
B01-0010-098A	-	-	-	-	-	500,569	-	-	-	317,822		-	-	-	224,347	1,915,868
B01-0010-098B	538,580	539,876	-	1,549,308	543,782	-	1,560,517	-	1,568,035	-		-	-	4,528,762	-	14,555,629
B01-0010-099A	949,200	951,484	-	2,466,919	-	-	-	5,160,271	-	2,502,743		986,404	-	2,557,457	-	23,393,994
B01-0010-101A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	139,656
B01-0010-103A	-	-	-	189,955	-	-	149,181	-	-	-		-	196,454	-	-	1,150,391
B01-0010-108A	-	-	-	166,979	-	-	-	398,225	-	169,404		172,278	-	-	173,524	1,494,425
B01-0010-112A	-	-	-	-	-	2,487,090	-	886,900	-	-		-	908,469	-	-	6,118,831
B01-0010-116A	-	-	-	124,726	-	125,327	-	125,930	-	-	●●●●	-	687,524	-	-	2,083,857
B01-0010-117A	7,043,400	-	-	20,843,111	7,111,424	7,128,533	7,145,682	-	-	-		-	-	-	27,783,323	144,683,521
B01-0010-118A	192,783	-	-	767,281	194,644	195,113	195,582	-	-	-		200,339	-	-	797,355	4,756,603
⋮						⋮										⋮
B08-0760-023AR	-	1,637,329	1,075,134	1,077,720	-	-	-	-	-	-		500,933	-	13,026,514	-	93,011,278
B08-0760-026A	-	-	2,986,188	-	-	-	-	6,087,850	1,283,818	1,286,906		-	-	-	-	20,434,855
B08-0760-026B	503,880	505,092	506,307	-	-	-	-	38,759,686	-	-		-	1,681,647	1,315,040	-	20,650,975
維護橋數	269	280	284	273	336	277	324	306	282	286	●●●●	297	289	302	260	
$\sum_{j=1}^{m} E_{ij}(MC)$	1,123,352,542	1,425,774,076	1,721,602,940	1,585,075,426	1,961,542,235	1,651,614,157	2,565,858,667	1,632,772,586	1,819,878,111	1,512,575,269	●●●●	2,145,055,911	2,015,846,615	1,817,230,014	1,873,819,339	41,278,150,716

$$\sum_{j=1}^{m} E_{ij}(MC) \le B_i$$

$$\text{Min}E_{GT}(\text{Cost}) = \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} E_{Bij}(\text{Cost})$$

6.3.2 群橋維護成本最佳化模式應用

本計畫建置網頁程式供使用者查詢，如圖 6.8 所示。

圖 6.8 橋梁資訊管理模組

再點選橋梁維護與風險管理項目(圖 6.9)。

圖 6.9 群橋維護策略查詢選單

橋梁維護與風險管理項目中分為單橋維護策略(前一年度成果)與群橋維護策略(圖 6.10)。

圖 6.10 群橋維護策略查詢選單

點選群橋維護策略按鈕後，需勾選查詢之條件(圖 6.11)。

圖 6.11 群橋維護策略查詢選單

以第二區工程處 20 年維護週期為例，顯示此工程處最佳維修策略組合，如圖 6.12 所示。

橋梁編號	橋梁名稱	工程處	工務段	維修風險成本(元)	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年	第6年	第7年	第8年	第9年	第10年	第11年	第12年	第13年	第14年	第15年	第16年	第17年	第18年	第19年	第20年
B01-0010-010A	大庄橋-苗栗	二區	苗栗	18626668	v	-	-	v	v	-	v	v	v	v	-	v	v	-	v	-	-	-	v	-
B01-0010-091A	山下橋	二區	苗栗	493289	-	v	-	v	v	v	-	-	v	v	-	v	-	v	-	v	-	v	v	-
B01-0010-092A	蟠桃橋	二區	苗栗	3709716	-	v	v	v	-	v	-	v	v	v	-	v	-	v	-	-	v	v	-	v
B01-0010-097A	尖山大橋	二區	苗栗	76604003	v	v	-	v	v	v	v	v	v	-	-	v	-	v	-	v	-	-	v	-
B01-0010-097B	後龍溪橋	二區	苗栗	89864384	-	v	v	v	v	v	-	v	v	v	-	v	-	v	v	-	-	v	v	v
B01-0010-097C	尖山陸橋	二區	苗栗	40478938	-	v	-	v	v	-	-	-	v	v	v	v	-	-	-	v	-	-	-	v
B01-0010-098A	尖山下橋	二區	苗栗	2060097	-	v	v	v	-	-	v	v	-	-	-	v	-	v	v	-	v	v	-	v
B01-0010-098B	公館仔橋	二區	苗栗	15344671	-	-	-	v	v	-	v	-	v	-	-	v	-	-	v	v	v	-	v	v
B01-0010-099A	南港溪橋	二區	苗栗	24550471	v	v	-	v	v	v	-	v	-	v	-	v	v	-	-	v	-	-	v	-
B01-0010-101A	談文橋	二區	苗栗	132742	v	v	v	v	-	-	-	v	-	-	-	v	-	v	v	-	-	v	-	-
B01-0010-103A	九車龍橋	二區	苗栗	971456	v	v	-	v	-	-	-	v	v	v	v	v	-	-	-	v	v	-	-	-
B01-0010-108A	後壁厝橋	二區	苗栗	1056040	v	v	-	v	v	v	v	v	v	-	v	v	-	-	v	-	v	v	v	v
B01-0010-112A	南社橋	二區	苗栗	5134855	v	-	v	v	-	v	-	-	v	-	v	v	v	v	v	-	v	v	v	-
B01-0010-116A	大埔橋	二區	苗栗	2021974	v	-	v	v	v	v	v	-	v	-	-	v	v	v	v	-	-	v	-	v
B01-0010-117A	西湖橋	二區	苗栗	139713316	v	v	-	v	v	v	v	v	-	v	-	v	v	-	-	v	v	v	-	-
B01-0010-118A	二福橋	二區	苗栗	4355840	-	v	v	v	v	-	-	-	v	-	v	v	v	v	v	-	v	v	v	v

圖 6.12 第二區工程處 20 年維護週期評估結果

亦可查詢第二區工程處 25 年維護週期分析結果，顯示此工程處最佳維修策略組合，如圖 6.13 所示。或是 30 年維護週期分析結果，如圖 6.14 所示。

橋梁編號	橋梁名稱	工程處	工務段	維修風險成本(元)	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年	第6年	第7年	第8年	第9年	第10年	第11年	第12年	第13年	第14年	第15年	第16年	第17年	第18年	第19年	第20年
B01-0010-010A	大庄橋-苗栗	二區	苗栗	18626668	v	-	-	v	v	-	v	v	v	v	-	v	v	-	v	-	-	-	v	-
B01-0010-091A	山下橋	二區	苗栗	493289	-	v	-	v	v	v	-	-	v	v	-	v	-	v	-	v	-	v	v	-
B01-0010-092A	蟠桃橋	二區	苗栗	3709716	-	v	v	v	-	v	-	v	v	v	-	v	-	v	-	-	v	v	-	v
B01-0010-097A	尖山大橋	二區	苗栗	76604003	v	v	-	v	v	v	v	v	v	-	-	v	-	v	-	v	-	-	v	-
B01-0010-097B	後龍溪橋	二區	苗栗	89864384	-	v	v	v	v	v	-	v	v	v	-	v	-	v	v	-	-	v	v	v
B01-0010-097C	尖山陸橋	二區	苗栗	40478938	-	v	-	v	v	-	-	-	v	v	v	v	-	-	-	v	-	-	-	v
B01-0010-098A	尖山下橋	二區	苗栗	2060097	-	v	v	v	-	-	v	v	-	-	-	v	-	v	v	-	v	v	-	v
B01-0010-098B	公館仔橋	二區	苗栗	15344671	-	-	-	v	v	-	v	-	v	-	-	v	-	-	v	v	v	-	v	v
B01-0010-099A	南港溪橋	二區	苗栗	24550471	v	v	-	v	v	v	-	v	-	v	-	v	v	-	-	v	-	-	v	-
B01-0010-101A	談文橋	二區	苗栗	132742	v	v	v	v	-	-	-	v	-	-	-	v	-	v	v	-	-	v	-	-
B01-0010-103A	九車龍橋	二區	苗栗	971456	v	v	-	v	-	-	-	v	v	v	v	v	-	-	-	v	v	-	-	-
B01-0010-108A	後壁厝橋	二區	苗栗	1056040	v	v	-	v	v	v	v	v	v	-	v	v	-	-	v	-	v	v	v	v
B01-0010-112A	南社橋	二區	苗栗	5134855	v	-	v	v	-	v	-	-	v	-	v	v	v	v	v	-	v	v	v	-
B01-0010-116A	大埔橋	二區	苗栗	2021974	v	-	v	v	v	v	v	-	v	-	-	v	v	v	v	-	-	v	-	v
B01-0010-117A	西湖橋	二區	苗栗	139713316	v	v	-	v	v	v	v	v	-	v	-	v	v	-	-	v	v	v	-	-
B01-0010-118A	二福橋	二區	苗栗	4355840	-	v	v	v	v	-	-	-	v	-	v	v	v	v	v	-	v	v	v	v

圖 6.13 第二區工程處 25 年維護週期評估結果

圖 6.14 第二區工程處 30 年維護週期評估結果

點選橋梁維修成本可進一步查看老化、耐洪、耐震維修風險成本值，如圖 6.15 所示。

圖 6.15 30 年維護維修策略詳細資料

6.3.3 群橋維護成本最佳化模式參數更新

點選維護策略參數設定與分析，如圖 6.16 所示，則可執行各工程處預算修改與重新分析維護策略等功能。

圖 6.16 維護策略參數設定與分析

圖 6.17 中顯示各養護工程處之年度預算預設值，管理單位可於系統網頁上修改新一年度工程處預算。

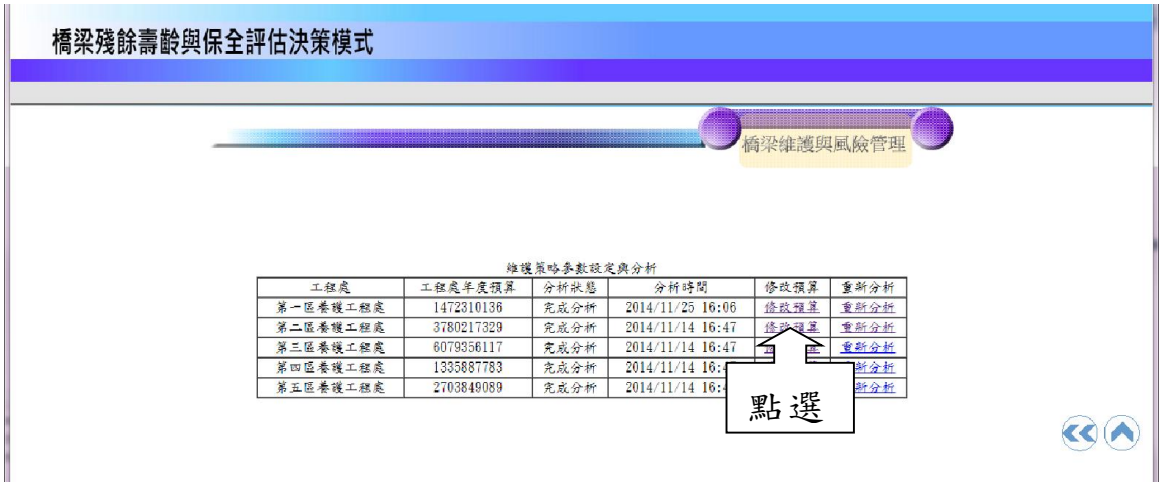


圖 6.17 修改工程處預算值

因本計畫以雲端運算為基礎，建置群橋維護策略分析模式，使用者僅需於網頁上點選重新分析按鈕(圖 6.18)，系統將自動於伺服器中啟動 SOS 群橋維護策略分析模式。分析所需時間約為 2-3 天，完成後相關資料將直接儲存至資料庫中，使用者可依前述 6.3.2 節之搜尋方法進行查詢。

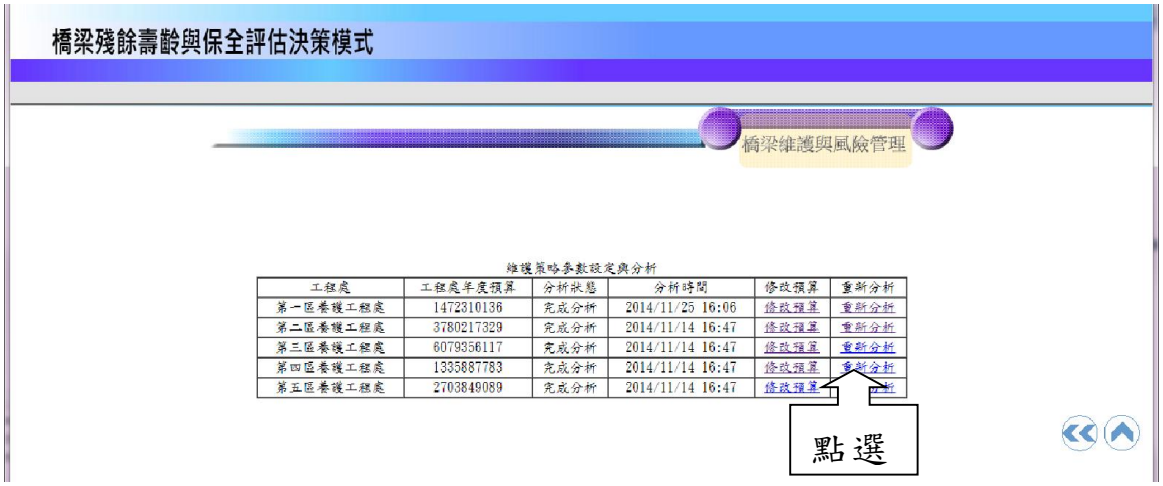


圖 6.18 重新分析

6.3.4 群橋維護成本最佳化模式使用建議

群橋維護成本最佳化模式之運算資料來源包括:(1)TBMS 檢測結果、(2)TBMS 維修紀錄、(3)工程處年度預算等。因此，建議橋梁管理單位在該年度確實填寫各橋梁之檢測與維修紀錄，並依各年度通過預算更改系統中預算值，再重新進行分析運算，以符合橋梁實際維修需求。

第七章　結論與建議

本計畫以生命週期成本導向之概念建置「群橋生命週期維護策略最佳化之模式」，同時考量各橋梁所評估之現況及風險影響程度，進而輔助橋梁管理單位針對群橋進行維護時機及經費估計，依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作，進而在有限維護經費下達到橋梁生命週期維護最佳經濟效益。

本計畫以生命週期成本導向之概念建置「群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群橋進行維護策略評估。故本研究團隊係從較務實之角度進行本研究，主要的研究目的條列如下：

(1) 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。

(2) 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。

(3) 輔助橋梁管理單位針對群橋建議維修補強策略，進行預算分配及經費估計。

本研究所獲致之結論與建議詳列如後。

7.1 結論

本計畫同時考量可視老化(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，並輔以人工智慧推論橋梁不同維護策略之維護成本，並分別評估各橋梁中斷下之風險成本。最後，使用生物共生最佳化演算法，在低於歷年維護經費限制下，搜尋最低之群橋生命週期風險成本的維護策略。

本節彙整前述之研究過程及完成之研究成果，歸納以下幾點作為結論：

1. 本計畫導入生命週期成本導向之概念，建置群橋維護策略最佳化模式，決定橋梁因年限、外力影響受損之最佳維護時機，進一步求得維護經費。
2. 本計畫針對國內橋梁進行風險辨識，篩選影響橋梁安全維護之風險因子，主要包括元件老化、洪水、地震等，另外納入用路人成本之損失，以風險期望值(風險成本)之概念，發展一橋梁風險評估模式，進而確立橋梁綜合能力指標。
3. 本計畫建立之橋梁綜合能力指標分別計算各因子在橋梁生命週期內可能造成之損壞機率與維護成本。機率部分依機率模型建置事件模擬器，透過蒙地卡羅模擬求得。成本部分應用人工智慧推估與預測各工程處內橋梁不同維護經費成本。再以兩者相乘積和，進而評估橋梁生命週期中可能造成的風險影響程度，加總得到群橋風險期望成本。
4. 考量公路橋梁管理機關在維護經費有限情形下，應用生物共生演算法建置群橋生命週期維護策略最佳化模式，搜尋風險高低順序排列，並依據預算限制找出在預算限制下需維護之橋梁名單與成本。本計畫成果可建議橋梁管理機關依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作，找出群橋最小生命週期風險期望成本維護方案。

7.2 建議

本節歸納前述之研究成果，提出以下幾點建議事項:

1. 本計畫之範圍僅限制於鋼筋混凝土橋梁，未來可針對不同形式之橋梁，將其納入探討範圍。
2. 在此針對各區工程處管理之橋梁進行維護策略最佳化之評選。然而，本計畫之探討對象為公路總局管理之省縣道橋梁，其它管理

單位之橋梁(如縣市政府管理之橋梁)將來也可以是一個研究的發展方向。

3. 本計畫對於用路人直接成本之估算，主要將決策者(公路總局)與用路人效益做一比一的加總。實際決策者欲使用本模式前，亦可依據其偏好對效益的加總設計權重以反映之。

7.3 成果效益與應用情形

1. 在施政上，本研究成果可提供交通部、橋梁管理單位在研擬橋梁維護與補強策略之參考。

2. 在實務上，本研究成果將提供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。

參考文獻

1. 鄭明淵等，「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，2012。
2. 全國法規資料庫(公路法與公路修建養護管理規則)，http://law.moj.gov.tw/Index.aspx ，2014。
3. 公路總局養護手冊，交通部公路總局，2012。
4. 交通部，公路養護規範，2003。
5. 李有豐、林安彥，橋梁檢測評估與補強，全華科技圖書，2000。
6. 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。
7. 臺灣地區橋梁管理系統TBMS，http://tbms.iot.gov.tw/bms2/，2014。
8. 張凱帆，「橋梁維修標準工項之初步研究」，碩士論文，國立中央大學營建管理研究所，2009。
9. 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，2005。
10. 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，2004。
11. 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，2007。
12. 中華民國政府電子採購網，http://web.pcc.gov.tw/pishtml/pisindex.html，2014。
13. 張修誠，「層級分級法應用於現存橋梁維修優選排序」，碩士論文，雲林科技大學營建工程研究所，2011。
14. RJ Woodward, Bridge Management Systems: Extended Review of Existing Systems and Outline framework for a European System, BRIME(Bridge Management in Europe), PL97-2220,2001.

15. 曾志煌、陳茂南，「縣市政府所轄老舊橋梁改善可行性評估」，交通部運輸研究所，2008。

16. 葉士青，「臺灣公路橋梁重要等級評估之研究」，碩士論文，中央大學土木工程研究所，2004。

17. 蔣偉寧等，「縣橋梁重要程度等級之建立」，交通部公路總局，2004。

18. 林慧敏，「社會成本問題之研究」，大同商專學報 6，頁 81-117，1991。

19. 尤琬姿，「地下管道之社會成本量化分析」，碩士論文，逢甲大學土木及水利工程研究所， 1999。

20. 羅紹松，「道路工程民眾抗爭造成社會成本損失之初步探討」，營建管理季刊，2002。

21. 賴鈺倩，「系統性橋梁維修評選之研究」，碩士論文，國立中央大學土木工程學系碩士班論文，2001。

22. 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碩士論文，2005。

23. 徐沛澐，「造價工期競標法應用於橋梁整建工程適用性之探討」，碩士論文，臺灣大學土木工程學系碩士論文，2010。

24. 黃榮堯等，「橋梁生命週期成本評估方法與結構使用年限之建立」，2004。

25. 郭承翔，「導向潛鑽工法應用於都市地區地下管線埋設可行性初步分析之探討」，碩士論文，國立中央大學土木工程研究所，2001。

26. 羅紹松，「道路工程民眾抗爭造成社會成本損失之初步探討」，營建管理季刊，2002。

27. 陳高村、許志誠，「道路交通事故賠償金額推估之研究」，道路交通安全與執法研討會，2000。

28. 陳立慧，「一、機動車交通事故之死亡率、潛在生命年數損失及其貨幣價值。二、機動車意外事故之貨幣價值損失－以某教學醫院 1990 年住院及死亡個案為例」，臺灣大學公共衛生研究所碩士論文，1993。

29. 陳振祥、白路等，「臺北市汽車交通事故傷害住院醫療費用分析與推估」，交通事故與交通違規之社會成本推估研討會，327-343頁，2000。

30. 陳建立、洪純隆，「頭部外傷住院病人的經濟成本分析及其重還工作率之研究」，高雄醫學院公共衛生學所，1994。

31. 張婉君，「旅運者肇事生命損失評價之研究」，碩士論文，淡江大學交通管理學系運輸科學碩士，1999。

32. 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。

33. Min-Yuan Cheng, Doddy Prayogo, "Symbiotic Organisms Search (SOS): A new metaheuristic optimization algorithm“, Elsevier Computer and structure, 2014.

34. 水文資訊網，http://www.wra.gov.tw/default.asp，2012。

35. 溫國梁、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。

36. 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。

37. 沈永年、曾明生、鄭傳璋，「橋梁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，第 135-144頁，2001。

38. S. Das, V. K. Gupta,and V. Srimahavishnu, Damage-based design with no repairs for multiple events and its sensitivity to seismicity model, 2007.

39. 公路總局，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。

40. 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。

41. 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, p242-253, 2011.

42. 道路橋梁工程-新北市政府，2012。

43. 臺北市市區道路管理規則，第二節第十七條，1993。

44. 臺中市道路管理規則，第 16 條，2010。

45. 蘇振維，「都市地區影響交通之重大工程施工規劃研究」，碩士論文，國立交通大學交通運輸工程研究所，新竹，1991。

46. 交通部公路總局，快速公路施工交通管制手冊，2012。

47. 交通部運輸研究所，第三期台灣地區運輸系統規劃-旅運特性與交通調查分析評估，1995。

48. 中華民國交通部公路總局公路統計資訊，http://www.thb.gov.tw/TM/Default.aspx，2014。

49. 賴禎秀，「開車通勤者時間價值之模式研究」，運輸計劃季刊 32 卷 3 期，2003。

50. 張杏珍，「公路車輛行車成本調查」，交通部運輸研究所，2000。

51. 中華民國交通部，交通統計月報之道路交通事故及違規概況 http://www.motc.gov.tw/ch/index.jsp，2014。

52. 自用小客車使用狀況調查報告，交通部統計處，2011。

53. 陳孜穎、周榮昌、邱裕鈞、郭仲偉，「交通事故賠償金額之研究─法院民事判決之應用」，中華民國運輸年會暨學術論文國際研討會，2012。(交通部運研所 MOTC-IOT-101-SEB010 道路交通事

故成本推估之研究)

54. 桃園縣政府，桃園市編號道路(鄉道)橋梁資料調查及檢測期末報告，2006。

55. 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。

附錄一

橋梁風險評估範例

維護策略最佳化問題中，除需考量因老化、洪水、地震而造成之維護風險成本 E(MC)及重建風險成本 E(RC)外，亦須將用路人成本之損失 E(UC)納入。本計畫根據風險評估模式之因子，以風險期望值之概念，建立橋梁維護之風險期望值 E_B(Cost)，如公式 1。而 E(MC)計算方式如公式 2、E(RC)如公式 3、E(UC)如公式 4 所示。

$$E_{Bj}(Cost)=E(MC)+E(RC)+E(UC) \quad \text{.....(1)}$$

$$E(MC)=\left(P_{MD_{ij}}\times C_{MD_{ij}}+P_{MS_{ij}}\times C_{MS_{ij}}+P_{ME_{ij}}\times C_{ME_{ij}}\right) \quad \text{.....(2)}$$

$$E(RC)=\left(P_{S_{ij}}\times C_{RS_{ij}}+P_{E_{ij}}\times C_{RE_{ij}}\right) \quad \text{.....(3)}$$

$$E(UC)=\left(P_{S_{ij}}\times C_{U_{ij}}+P_{E_{ij}}\times C_{U_{ij}}\right)+\left(P_{MD_{ij}}\times C_{U_{ij}}'+P_{MS_{ij}}\times C_{U_{ij}}'+P_{ME_{ij}}\times C_{U_{ij}}'\right) \quad \text{...(4)}$$

以某橋為例，應用蒙地卡羅模擬因元件老化、沖刷造成橋梁需維護或重建之機率;地震則是以地震潛勢機率模型求得各橋梁所在地之 PGA。再考量橋梁現有耐震強度(Ay,Ac)，求得橋梁地震損傷指標，並以蒙地卡羅模擬找出橋梁地震損傷需維護及重建之機率。

根據蒙地卡羅模擬，此橋梁在第 5 年:

1.元件老化維護機率(P_{MD})=20%

2.洪水維護機率(P_{MS})=15%

3.洪水重建風險機率(P_S)=0.01%

4.地震維護機率(P_{ME})=10%

5.地震重建風險機率(P_E)=0.02%

本計畫分別建立檢測歷史紀錄、元件老化與洪水橋梁維護案例資料，藉由檢測歷史紀錄與維護案例資料之連結，可得不同損壞狀態下(CI 及 SSI)所對應之維護成本。然後應用人工智慧推論模式，以 CI 及 SSI 等因子為輸入，維護成本為輸出，建立橋梁老化、耐洪維護成本推估模式，以預測未來橋梁分別因老化與洪水維護所需花費的成本

(C_{MD}&C_{MS})。地震部分則參考日本阪神地震之文獻，依據前一階段所求得橋梁各損傷指標發生機率，先乘上此指標所對應損害分級之損害比，加總後再乘上興建成本即為橋梁因地震風險下所需成本。

根據人工智慧推論，此橋梁在第 5 年:

1.橋梁元件老化維護成本(C_{MD})=50 萬元

2.橋梁洪水沖刷維護成本(C_{MS})=100 萬元

3.橋梁洪水沖刷重建成本(C_{RS})=2000 萬元

4.橋梁地震維護成本(C_{ME})=500 萬元

5.橋梁地震重建成本(C_{RE})=2000 萬元

橋梁損壞或中斷下用路人成本計算如下

以此橋車流量 ADT=18157(輛/日)，替代道路 L'=2.2(KM)，橋長 L=0.95(KM)，平均載客數 NP=1.887，平日車行速度 Sn=50(km/hr)，維護時車行速度 Sa=30(km/hr)，旅行平均每小時時間價值 W=173(元/hr)，車輛平均每小時燃料及折舊成本為 r=13(元/小時)，車輛事故發生率 An=0.0000008（次/百萬輛公里），每次事故成本 Ca=835,968 元/次

旅行延時成本(部分封閉):

$$(\frac{L}{S_a}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times W\times NP = 75{,}080(\text{元/天})$$

旅行延時成本(完全封閉):

$$(\frac{L'}{S_n}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times W\times NP = 148{,}184(\text{元/天})$$

車輛運行成本(部分封閉):

$$(\frac{L}{S_a}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times r = 2{,}989(\text{元/天})$$

車輛運行成本(完全封閉):

$$(\frac{L'}{S_n} - \frac{L}{S_n}) \times ADT \times r = 5901(\text{元/天})$$

事故發生成本(完全封閉):

$$(L' - L) \times ADT \times A_n \times C_a = 15{,}179(\text{元/天})$$

完全封閉加總*平均封閉時間=(148184+5901+15179)*30=5077920(元)

部分封閉加總*平均封閉時間=(75080+2989)*30=2342070(元)

將各項機率與成本相乘後可分別得到其風險成本

E(MC)=20%*50 萬元+15%*100 萬元+ 10%*500 萬元 =75 萬元

E(RC)= 0.01%*2000 萬元+0.02%*2000 萬元=60 萬元

E(UC)=0.01%*5,077,920 元+0.02%*5,077,920 元+20%*2,342,070 元
+15%*2,342,070 元+ 10%*2,342,070 元=1,663,281 元

因此此橋第 5 年之風險成本 E(COST)為 3,013,282 元，以相同步驟可求得此橋 20~30 年 E(COST)。

附錄二

網頁操作說明

1.開啟瀏覽器輸入系統網址: http://140.118.205.53/www1/lifecycle.htm。

2.輸入帳號與密碼。

3.可登入系統主畫面，分為單橋維護策略、群橋維護策略與維護策略參數設定與分析三功能模組。

4.點選單橋維護策略後，可選擇搜尋條件。

5.送出查詢條件後，系統將條列符合條件之清單。並可分別依老化、洪水、地震等條件進行排序。

橋梁編號	橋梁名稱	工程處	工務段	所在縣市	所在鄉鎮	依老化造成維修機率排序(%)	依洪水造成維修機率排序(%)	依地震造成維修機率排序(%)	維修策略(建議維修門檻)	生命週期成本(NT)	維修風險成本(NT)	重建風險成本(NT)
A01-0620-000AE	第一標東行線0K+131.5-360	一區	景美	基隆市	七堵區	61.76	100.0	82.5	CI=75	198331000	158091000	40240400
A01-1060-059BN	平育橋(新橋)	一區	景美	新北市	石碇	0.0	100.0	79.5	CI=75	36194200	17599400	18594800
A01-1060-054	永定橋	一區	景美	新北市	石碇	0.0	100.0	78.5	CI=75	48150900	33761500	14389400
A01-002C-010E	平湖六號橋	一區	景美	台北縣	平溪	17.2	100.0	76.0	CI=75	73945600	59133300	14812300
A01-002C-023B	長潭橋	一區	景美	台北縣	雙溪	12.9	100.0	74.5	CI=75	135936000	78965700	56970500
A01-0620-000AW	第一標西行線0K+046-480	一區	景美	基隆市	七堵區	62.08	100.0	73.5	CI=75	145050000	122262000	22788200
A01-0020-030A	玉公橋	一區	景美	台北縣	石門	0.0	100.0	73.5	CI=75	835024000	778446000	56577800
A01-002D-010A	瑞芳橋	一區	景美	台北縣	瑞芳	0.0	100.0	71.5	CI=75	163060000	82750100	80310400
A01-1060-050B	香子坑橋	一區	景美	新北市	石碇	0.0	100.0	69.5	CI=75	86005900	32982600	53023400
A01-1060-067	十分寮橋	一區	景美	新北市	平溪	0.0	100.0	69.5	CI=75	33695500	31745200	1950390
A01-002C-022A	坪溪橋	一區	景美	台北縣	雙溪	27.34	100.0	69.0	CI=75	180438000	170349000	10088500
A01-002C-023A	八股橋	一區	景美	台北縣	雙溪	9.58	100.0	68.0	CI=75	200447000	121402000	79045200
A01-106B-002AW	喜樂橋(西)	一區	景美	新北市	石碇	0.0	100.0	68.0	CI=75	390484000	167882000	222601000
A01-1060-047B	新興橋	一區	景美	新北市	深坑	0.0	100.0	67.5	CI=75	48855800	21884900	26970900
A01-005B-000A	貨櫃運輸道橋-0K+238m	一區	景美	台北縣	汐止	40.13	100.0	64.5	CI=75	263038000	250429000	12608100
A01-002C-017B	平林壹號橋	一區	景美	台北縣	雙溪	16.69	100.0	64.5	CI=75	183621000	129092000	54528900

6. 點選群橋維護策略按鈕後，需勾選查詢之條件。

7.以第二區工程處 20 年維護週期為例，顯示此工程處最佳維修策略組合。

橋梁編號	橋梁名稱	工程處	工務段	維修風險成本(元)	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年	第6年	第7年	第8年	第9年	第10年	第11年	第12年	第13年	第14年	第15年	第16年	第17年	第18年	第19年	第20年
B01-0010-010A	大坐橋-苗栗	二區	苗栗	18626668	v	-	-	v	v	-	v	v	v	v	-	v	v	-	v	-	-	-	v	-
B01-0010-091A	山下橋	二區	苗栗	493289	-	v	-	v	v	v	-	-	v	v	-	v	-	v	-	v	-	v	v	-
B01-0010-092A	蟠桃橋	二區	苗栗	3709716	-	v	v	v	-	v	-	v	v	v	-	v	-	v	-	-	v	v	-	v
B01-0010-097A	尖山大橋	二區	苗栗	76604003	v	v	-	v	v	v	v	v	v	-	-	v	-	v	-	v	-	-	v	-
B01-0010-097B	後龍溪橋	二區	苗栗	89864384	-	v	v	v	v	v	-	v	v	v	-	v	-	v	v	-	-	v	v	v
B01-0010-097C	尖山陸橋	二區	苗栗	40478938	-	v	-	v	v	-	-	-	v	v	v	v	-	-	-	v	-	-	-	v
B01-0010-098A	尖山下橋	二區	苗栗	2060097	-	v	v	v	-	-	v	v	-	-	-	v	-	v	v	-	v	v	-	v
B01-0010-098B	公館仔橋	二區	苗栗	15344671	-	-	-	v	v	-	v	-	v	-	-	v	-	-	v	v	v	-	v	v
B01-0010-099A	南港溪橋	二區	苗栗	24550471	v	v	-	v	v	v	-	v	-	v	-	v	v	-	-	v	-	-	v	-
B01-0010-101A	談文橋	二區	苗栗	132742	v	v	v	v	-	-	-	v	-	-	-	v	-	v	v	-	-	v	-	-
B01-0010-103A	九重舖橋	二區	苗栗	971456	v	v	-	v	-	-	-	v	v	v	v	v	-	-	-	v	v	-	-	-
B01-0010-108A	後壁厝橋	二區	苗栗	1056040	v	v	-	v	v	v	v	v	v	-	v	v	-	-	v	-	v	v	v	v
B01-0010-112A	南社橋	二區	苗栗	5134855	v	-	v	v	-	v	-	-	v	-	v	v	v	v	v	-	v	v	v	-
B01-0010-116A	大埔橋	二區	苗栗	2021974	v	-	v	v	v	v	v	-	v	-	-	v	v	v	v	-	-	v	-	v
B01-0010-117A	西湖橋	二區	苗栗	139713316	v	v	-	v	v	v	v	v	-	v	-	v	v	-	-	v	v	v	-	-
B01-0010-118A	二福橋	二區	苗栗	4355840	-	v	v	v	v	-	-	-	v	-	v	v	v	v	v	-	v	v	v	v

8.亦可查詢第二區工程處 25 年維護週期分析結果，顯示此工程處最佳維修策略組合。

橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式

重新查詢　列印此頁

橋梁編號	橋梁名稱	工程處	工務段	維修風險成本(元)	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年	第6年	第7年	第8年	第9年	第10年	第11年	第12年	第13年	第14年	第15年	第16年	第17年	第18年	第19年	第20年
B01-0010-010A	大庄橋-苗栗	二區	苗栗	18626668	v	-	-	v	v	-	v	v	v	v	-	v	v	-	v	-	-	-	v	-
B01-0010-091A	山下橋	二區	苗栗	493289	-	v	-	v	v	v	-	-	v	v	-	v	-	v	-	v	-	v	v	-
B01-0010-092A	蟠桃橋	二區	苗栗	3709716	-	v	v	v	-	v	-	v	v	v	-	v	-	v	-	-	v	v	-	v
B01-0010-097A	尖山大橋	二區	苗栗	76604003	v	v	-	v	v	v	v	v	v	-	-	v	-	v	-	v	-	-	v	-
B01-0010-097B	後龍溪橋	二區	苗栗	89864384	-	v	v	v	v	v	-	v	v	v	-	v	-	v	v	-	-	v	v	v
B01-0010-097C	尖山陸橋	二區	苗栗	40478938	-	v	-	v	v	-	-	-	v	v	v	v	-	-	-	v	-	-	-	v
B01-0010-098A	尖山下橋	二區	苗栗	2060097	-	v	v	v	-	-	v	v	-	-	-	v	-	v	v	-	v	v	-	v
B01-0010-098B	公館仔橋	二區	苗栗	15344671	-	-	-	v	v	-	v	-	v	-	-	v	-	-	v	v	v	-	v	v
B01-0010-099A	南港溪橋	二區	苗栗	24550471	v	v	-	v	v	v	-	v	-	v	-	v	v	-	-	v	-	-	v	-
B01-0010-101A	旗文橋	二區	苗栗	132742	v	v	v	v	-	-	-	v	-	-	-	v	-	v	v	-	-	v	-	-
B01-0010-103A	九車籠橋	二區	苗栗	971456	v	v	-	v	-	-	-	v	v	v	v	v	-	-	-	v	v	-	-	-
B01-0010-108A	後壁厝橋	二區	苗栗	1056040	v	v	-	v	v	v	v	v	v	-	v	v	-	-	v	-	v	v	v	v
B01-0010-112A	南社橋	二區	苗栗	5134855	v	-	v	v	-	v	-	-	v	-	v	v	v	v	v	-	v	v	v	-
B01-0010-116A	大埔橋	二區	苗栗	2021974	v	-	v	v	v	v	v	-	v	-	-	v	v	v	v	-	-	v	-	v
B01-0010-117A	西湖橋	二區	苗栗	139713316	v	v	-	v	v	v	v	v	-	v	-	v	v	-	-	v	v	v	-	-
B01-0010-118A	二福橋	二區	苗栗	4355840	-	v	v	v	v	-	-	-	v	-	v	v	v	v	v	-	v	v	v	v

9.或是 30 年維護週期分析結果。

橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式

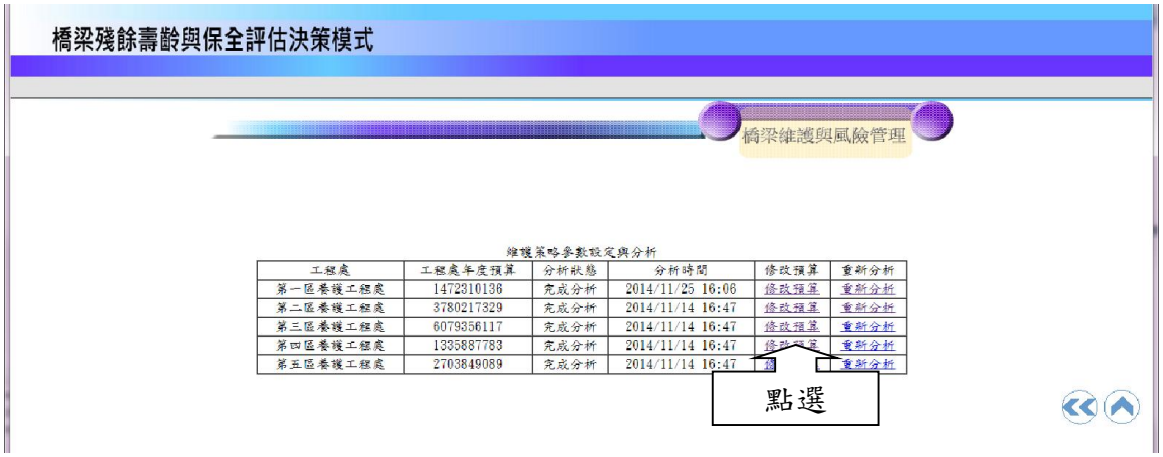
重新查詢　列印此頁

橋梁編號	橋梁名稱	工程處	工務段	維修風險成本(元)	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年	第6年	第7年	第8年	第9年	第10年	第11年	第12年	第13年	第14年	第15年	第16年	第17年	第18年	第19年	第20年	第21年	第22年	第23年	第24年	第25年	第26年	第27年	第28年	第29年	第30年
B01-0010-010A	大庄橋-苗栗	二區	苗栗	15285365	v	-	v	v	v	-	v	-	-	-	-	v	v	-	v	v	-	-	-	-	-	v	-	-	-	-	v	-	-	v
B01-0010-091A	山下橋	二區	苗栗	1163627	v	v	v	v	v	-	-	-	v	-	-	-	-	-	-	v	-	v	v	v	-	-	v	v	v	-	v	-	v	-
B01-0010-092A	蟠桃橋	二區	苗栗	3179734	v	v	v	-	-	-	v	v	v	v	v	v	v	-	-	-	v	v	v	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B01-0010-097A	尖山大橋	二區	苗栗	88121991	v	-	v	-	v	-	-	v	v	v	-	-	-	-	v	v	-	v	v	-	v	v	-	-	v	-	v	-	v	-
B01-0010-097B	後龍溪橋	二區	苗栗	91059212	v	-	v	-	-	v	-	v	v	-	-	-	v	v	-	-	v	v	v	v	v	v	-	v	-	-	-	-	v	v
B01-0010-097C	尖山陸橋	二區	苗栗	22224989	v	-	-	v	-	-	v	-	-	-	v	v	-	v	v	v	-	-	-	-	v	v	v	v	-	-	v	-	v	-
B01-0010-098A	尖山下橋	二區	苗栗	2255613	v	-	v	-	v	-	v	v	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	v	-	v	v	v	-	-	v	-	v	v
B01-0010-098B	公館仔橋	二區	苗栗	14529102	v	v	-	v	-	v	-	v	-	-	-	-	-	v	v	-	v	v	-	-	v	-	v	v	-	v	-	v	-	-
B01-0010-099A	南港溪橋	二區	苗栗	20563339	v	v	v	v	v	v	v	v	v	-	-	-	-	-	-	v	-	v	v	v	-	v	v	v	-	v	-	v	v	v
B01-0010-101A	旗文橋	二區	苗栗	154493	v	v	v	-	v	-	-	v	v	-	-	-	v	-	v	-	-	-	v	v	v	v	-	v	-	-	-	-	-	-
B01-0010-103A	九車籠橋	二區	苗栗	1146597	v	-	-	v	v	-	v	-	v	v	v	v	-	-	v	v	-	v	v	-	v	v	-	-	-	-	v	-	-	-
B01-0010-108A	後壁厝橋	二區	苗栗	1248469	v	v	v	v	v	v	v	v	-	v	-	-	-	-	v	-	-	-	v	-	v	v	v	-	-	-	v	-	v	v
B01-0010-112A	南社橋	二區	苗栗	8296479	v	-	v	-	-	-	v	-	-	-	v	-	v	v	-	v	-	-	v	-	v	-	v	-	-	-	v	-	-	v
B01-0010-116A	大埔橋	二區	苗栗	2372635	v	v	v	-	-	-	-	v	v	v	-	v	-	v	-	v	-	-	-	v	v	v	v	-	v	-	-	-	-	-
B01-0010-117A	西湖橋	二區	苗栗	130828100	v	-	-	v	v	-	v	v	-	v	-	v	-	-	-	-	v	v	-	-	-	v	v	-	v	-	-	-	-	-
B01-0010-	二福橋	二區	苗栗	4360843	v	-	v	v	-	v	v	v	-	v	v	v	-	-	-	v	v	-	v	-	-	-	v	v	-	v	-	-	-	v

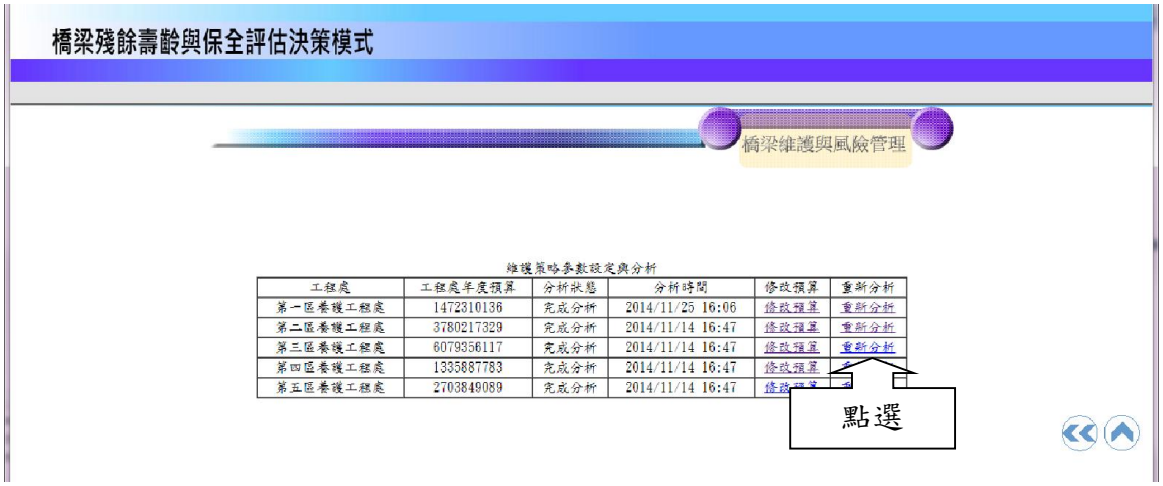
10.點選橋梁維修成本可進一步查看老化、耐洪、耐震維修風險成本值。

11.點選維護策略參數設定與分析，則可執行各工程處預算修改與重新分析維護策略等功能。

12.顯示各養護工程處之年度預算預設值，管理單位可於系統網頁上修改新一年度工程處預算。



13.因本計畫以雲端運算為基礎，建置群橋維護策略分析模式，使用者僅需於網頁上點選重新分析按鈕，系統將自動於伺服器中啟動 SOS 群橋維護策略分析模式。分析所需時間約為 2-3 天，完成後相關資料將直接儲存至資料庫中。



14.群橋維護成本最佳化模式之運算資料來源包括:(1)TBMS 檢測結果、(2)TBMS 維修紀錄、(3)工程處年度預算等。因此，建議橋梁管理單位在該年度確實填寫各橋梁之檢測與維修紀錄，並依各年度通過預算更改系統中預算值，再重新進行分析運算，以符合橋梁實際維修需求。

附錄三

期中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)

期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發 4/4

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
一、公路總局養路組何鴻文副組長		
1.本案研究對象既以公路總局橋梁為主，表 2-6 之文獻蒐集建議納入公路總局檢測、維修、補強的相關規範及規定。	1.感謝委員建議，補充交通技術標準規範公路類公路工程部公路養護規範、橋梁目視檢測評估手冊（草案）等內容。	1.同意辦理
2.2.8 節名詞解釋應以本研究適用者為主，有關道路等級之分類名詞建議回歸公路法規定，不宜再另作解釋。	2.感謝委員建議，已刪除不必要內容。	2. 同意辦理
3.有關生物共生搜尋演算法(SOS)與群橋風險管理策略訂定之關聯性敘述請再加強。	3.已於期末報告第六章 6.2 節中補充說明。	3. 同意辦理
4.事故發生成本逕以(受傷+死亡)代表是否妥適，請再研議。	4.根據文獻[27、28、51、53]，考量事故發生後對用路人之影響為受傷或死亡之損失最為直接，而車輛或財物之損失因無相關統計資料且車輛等級與損傷差異甚大，故此研究事故發生成本僅考量用路人受傷與死亡之損失。	4. 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
5.報告內筆誤之處，如(1)目錄 2-31?；(2)P.2-14 後左上角之附件 1；(3)參考文獻 6 與 75 重複，36 有筆誤等，請再校核。	5.(1)2-31 為頁碼編號，已更正編排。(2)已刪除不必要文字。(3)相關參考文獻已重新編排。	5. 同意辦理
二、中興大學土木工程學系林炳森教授		
1.P.1-16 步驟 7 群橋成本維護最佳化，最佳化結果須滿足維護成本加總小於預算限制，建議除小於年度預算，是否可更積極，若超出預算亦可列出實際維護成本。	1.本研究之目的為讓橋梁管理單位在有限預算內搜尋可行之維修組合方案，委員之建議將違背模式建立時之初衷。因此，如有超過預算之需求，可調高該年度之預算值後重新規劃。	1. 同意辦理
2. P.2-15 表 2-7 中美國各州與美國加州，矛盾，加州為美國一州。	2.感謝委員建議，已修正為美國加州、美國各州(未含加州)。	2. 同意辦理
3. P.3-25 橋梁生命週期維護策略模式中採用 20 年(1)說明 i 採 20 年因台灣大地震周期為 15-20 年，應定義何謂大地震，為何採 20 年應加強說明(2)但橋管單位有 15、20、25、30 年。	3.感謝委員建議。修正相關說明如下:本研究所規劃各工程處群橋維護週期以 20 年為期，而設定 20 年的考量，是因為依據過去歷史資料顯示，政府在 10~20 年間，會因應橋梁受損狀況，編列特別預算，進行全面橋梁檢視與補強，同樣地一旦橋梁經全面補強後，平	3. 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
	時之橋梁維護亦需重新規劃。考量此需求，本研究提供年限設定之彈性，橋梁管理單位可依實際需求，設定求得 20,25,30 年維護週期之維護策略。。	
4.P.4-2 非直接成本如何由 P.2-20 表 2-11 中篩選為 P.4-2 之 7 個參數應加強說明，不宜解釋為超過 7 個文獻提及就納入。	4.遵照委員意見，將增加說明如下:本研究考量經濟衝擊中社會經濟層面難以量化評估，因此將僅計算用路人額外成本。而生命安全將納入本研究考量。維生管線因非公路總局管轄範圍[43-44]，故不計算。緊急應變系統、國防用途、歷史價值皆難以量化評估，不在此研究範圍。	4. 同意辦理
5.P.5-6 群橋成本維護最佳化採 SOS，不宜說明控制參數最少，應說明其真正優點為何?	5.感謝委員建議，增加相關說明:即使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之問題，其在尋優與運算時間表現均優於目前被廣為應用之基因演算法(Genetic Algorithms，GA)與粒子群演算法(Particle Swarm Optimization，PSO)。	5. 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
6.參考文獻應依運研所規定。 三、臺北科技大學土木工程系施邦築教授 1.本年度重要研究內容為群橋成本維護最佳化，因此應清楚定義群橋，其條件、限制為何?	6.期末報告依貴所之規定進行編排。 1.根據與公路總局訪談之結果，本研究主要之目的為幫助橋梁管理單位在預算有限之下決定橋梁維護之優先順序。因本研究的對象為公路總局，公路總局又隸屬於行政院交通部，其下層管理機關總共有 5 個工程處，各工程處其下又有 6~8 個工務段。實務上維護預算之編列狀況為，各處會統計各段之當年度預算需求，之後彙整後會跟局本部報告，局本部再報告給行政院，行政院把各部之預算彙整後給立法院，立法院依據年度預算增減，將總預算給局本部，後續局本部會再跟各處討論預算分配，最後各處再把預算分配給各工務段。因各工程處負責彙整各工務段的資料，並編列預算向總局提報，於預算編列也希望得到決策支援，因此	6. 同意辦理 1. 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
	本研究之成果係假設在預算編列與群橋維護策略上，係提供決策支援給各工程處。	
2.本年度另一重要研究內容為社會成本的計算，但經簡化、挑選，最後僅剩用路人的成本，建議不要用「社會成本」以免誇大。	2.感謝委員建議，已修正為用路人成本。	2. 同意辦理
3.P.2-14 表 2-6 耐震檢測的檢測規範、手冊有誤，應修正。	3.感謝委員建議，已修正為公路橋梁耐震規範。	3. 同意辦理
4.P.3-25 採 20 年為計算年限，理由為「因台灣大地震的週期為 15-20 年」，說明不清楚，建議補強。	4.請參照委員 2 問題 3 之回覆。	4. 同意辦理
四、本所港研中心第一科胡啟文助理研究員		
1. P.3-6，文末敘述語氣似無結尾，再請修正。	1.感謝建議，已重新編排報告內容。	1.同意辦理
2.車輛運行成本計算包含燃料消耗，隨能源減少物價上揚，則成本計算之物價調整機制為何?是否考慮可設計供使用者輸入調整之功能選項。	2.因本研究將推估未來 20 年-30 年之維修策略，故已參考主計處近年來物價上揚趨勢，迴歸分析計算未來物價上漲幅度。而單一年度之物價指數對於 20-30 年未來趨勢影響不大，因此使用者不須輸	2. 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
	入當年度之物價指數。	
3.P.4-14，再請補充車輛運行成本(完全封閉)之案例說明。	3.已於表 5-22 補充完全封閉車輛運行成本案例說明。	3. 同意辦理
4. P4-18，表 4-14，社會成本概算其中包含旅行延時成本及部分封閉之分別考量，惟概算所得之社會成本總和只有一項結果，再請說明。	4.本研究假設橋梁封閉進行維修後，將採逐步開放通車之方式。因此當橋梁封閉時，將由初始的完全封閉過渡至部分封閉再到完全開放，因此封閉時之用路人成本將取完全封閉與部分封閉之平均值，作為每日可能用路人成本之期望值。	4. 同意辦理
5.P6-1，....工作執行進度其說明如下「0、0:」，「」處請修正；P6-2，於期中報告後計畫後續工作項目如「0」所示，「」處請修正；參-3，36....國立交通大學交通運「蘇」工程研究所....，「」處請修正。	5.相關表說引用錯誤及文獻錯誤之內容已進行修正。	5. 同意辦理
五、本所港研中心第一科林雅雯研究員		
1.報告請按本所出版品規定格式辦理。	1.遵照辦理。	1. 同意辦理
2.報告第一章、2.2 節至 2.8 節左上角皆有附件一的字	2.相關錯誤文字已移除。	2. 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
樣，建議刪除。		
3.報告 P.2-12 二區工程處年平均維護管理預算值為 1,378,728,719 元，與表 2-5 及簡報 21 頁之值不符。	3.1,378,728,729 元為考慮基期後之修正結果，表中數字為直接加總，為避免讀者混淆，將表中平均值亦修正為考慮基期之結果。	3. 同意辦理
4.報告 P.2-15 表 2-7 列出各國橋梁維護優先排序考量因素，建議各國因素如何計算方式補充說明。	4.各國所採用方法皆為應用因子評分表進行總得分計算，求得橋梁維修優先順序。其差異僅為因子權重各國設定值不同。	4. 同意辦理
5.2.8 節 P.2-34 名詞解釋似非必要，建議刪除。	5.亦參考委員 1 問題 2 之建議，已刪除相關內容。	5. 同意辦理
6.報告 P.6-1 及 P.6-2 皆有如下 0、0 或如 0 所示出現，建議更正。	6.相關表說引用錯誤及文獻錯誤之內容已進行修正。	6. 同意辦理
7.第 7 章為預期成果，建議撰寫結論與建議。	7.期末報告中已完整報告格式進行撰寫，最後章節為結論與建議。	7. 同意辦理
8.本研究網頁架構建議納入報告中，並建議說明系統日後維護更新項目、值急需使用者輸入項目。	8.遵照辦理，相關內容請參考 6.3 節。	8. 同意辦理
9.目前以 2014 年物價來計	9.請參考委員 4 問題 2。	9. 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
算橋梁維護成本，報告中建議說明日後物價調整之輸入項目及方式。	因本研究將推估未來20 年-30 年之維修策略，故已參考主計處近年來物價上揚趨勢，迴歸分析計算未來物價上漲幅度。而單一年度之物價指數對於20-30年未來趨勢影響不大，因此使用者不須輸入當年度之物價指數。	

附錄四

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：橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發 4/4

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
一、公路總局養路組何鴻文副組長		
1.2-8 頁表 2-2 公務總局請修正為公路總局。	1.遵照辦理。	1. 同意辦理
2.2-9 頁 2.1.4 節第 1 段最末文字敘述請再修正或刪除。	2.遵照辦理，刪除不適當敘述。	2. 同意辦理
3.表 2-4 鐵路局管國有道路預算應為錯誤。	3.遵照辦理，刪除不適當敘述。	3. 同意辦理
4.2-11 頁公路總局之工程處正確名稱為「養護工程處」。	4.遵照辦理，修正為正確名稱。	4. 同意辦理
5.2-12 頁總局部份敘述「…且目前經費充裕…」不符現狀，請修正。	5.遵照辦理，刪除不適當敘述。	5. 同意辦理
6.表 4-5 台灣主要河系 SSI 下降表之合理性請再檢視。	6.此表根據 TBMS 過去洪水後 SSI 檢測結果所繪製，已重複確認其正確性，部分河系橋梁在大水後，確實有 SSI 大幅下降之紀錄。	6. 同意辦理
7.本研究之對象既為混凝土橋，圖 6-12~6-15 分析所用	7.遵照辦理，修正為混凝土橋之維護預算。	7. 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
之限制式(6.2)之 B_i 是否亦應為混凝土橋之維護預算。		
8.2-13 頁公路總局每年定期檢查並未規定於 11 月 1 日後才開始。	8.遵照辦理，修正為 11 月 31 日前完成。	8. 同意辦理
二、中興大學土木工程學系林炳森教授		
1.本計畫成本可提供橋梁管理單位進行群橋維護時機與經費估計，具工程實用價值。	1.感謝委員。	1. 同意辦理
2.P.1-13 步驟 7 群橋成本維護最佳化，須滿足維護成本加總小於年度預算。	2.遵照辦理，修正錯誤敘述。	2. 同意辦理
3.P.2-39 社會成本除用路人成本，建議應儘量加入其他經濟衝擊、生命安全、環境衝擊…等。	3.表 2-13 為過去文獻探討道路中斷下之研究彙整表，文獻中考量道路中斷下之社會經濟、生命安全與環境衝擊之影響。	3. 同意辦理
4.P.4-3 圖 4.2 在 CI=88 附近為何數據點較多？	4.此圖為單一座橋梁-復興三橋之 CI 歷史紀錄，過去歷史紀錄中顯示此橋之 CI 評估結果在超過 5 年之後老化趨勢漸緩，皆靠近 88 分。	4. 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
5.P.5-4 表 5-2 加入修正因子，有高程、竣工年，應再進行 SPSS 分析其相關係數。	5.此部分為第三年度研究成果，相關因子篩選過程已於該年度報告書詳述，此部分加入引用第二年報告參考文獻。	5. 同意辦理
6.P.6-9 圖 6-5 補強後殘餘能力不宜高於原來。	6.遵照辦理，修正圖示說明。	6. 同意辦理
7.P.5-18 表 5-9 損害比如何分成五級，應說明。	7. 本計畫參考 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分為五等級。其依據為 Ay 與 Ac 所造成損壞，首先將 Ay 與 Ac 距離間均分為兩等級，在 Ay 之上為完全崩塌，Ay 與 Ac 間為重度損傷及中度損傷，Ac 之下為無損傷。	7. 同意辦理
三、臺北科技大學土木工程系施邦築教授		
1.某一橋管單位所管各 RC 橋的建造，全面補強的時間不同，各橋的殘餘壽齡亦不同，但都以同一年段（如 20 年）計算 E（MC）、E（RC）等，是否合理。	1.本計畫是以橋梁管理單位角度進行討論，因此雖然各橋梁能力不同 (由 CI 及 SSI 與 Ay、Ac 反應)，但在考慮各橋梁初始能力與後續遭遇風險程度下，進行 20 年可能橋梁狀態與維護可能方案之評估。故本計畫	1. 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
	有考慮各橋梁不同狀況之因素。	
2.若某 RC 橋歷經部份改建、部份擴建、部份補強（耐震或沖刷或老劣化),在計算 E（MC)、E（RC）時，如何反應？	2. 同上題所述，橋梁現有能力由改建補強後重新調查之 CI 及 SSI 與 Ay、Ac 反應，橋梁現有能力即能進行更新。	2. 同意辦理
3.報告中說明政府在 10~20 年間，會編列特別預算，進行全面檢視與補強，建議說明資料來源。	3.感謝建議，修正為 8-10 年，根據政府電子採購網紀錄，政府在 90 年桃芝、納莉後與 98 莫拉克颱風後皆進行全面檢視與補強。	3. 同意辦理
四、成功大學土木工程學系陳景文教授		
1.風險下維修成本 E（MC）仍分成三個獨立成本，即元件老化、洪水及地震，但此三類成本是否相依，如洪水加上地震同時發生時之維修成本，可否進一步分析。	1.現有研究計畫中尚未有一套較完善可同時考量多重災害下之評估方式，因此本計畫無法同時考量多重災害之影響，並將此限制加入研究限制中。	1. 同意辦理
2.事故發生成本僅以用路人受傷或死亡之損失，但對其他用路人之旅行延時成本可否計入，請說明。	2.目前道路中斷下之分析，皆僅考量用路人在改道的過程中所可能造成受傷或死亡之直接損失，如在改道過程中發生事故所造成其餘用路人之延時成本較難評	2. 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
	估，原因如下：此路段上之車流難以估計，因為車流並非僅是原先道路中斷下改道至此之車流，尚有整體路網分配下之車流量。	
五、本所運輸計畫組黃俊豪研究員		
1.實務上，各機關公務預算往往需先預估合適額度審定後始能動支，故本案橋梁維護策略最佳化模式所推估「群橋維護成本」，可供各單位作為概估中長程橋梁整建經費時之參考，惟相關估算結果係屬是上限或是下限？	1.此評估結果為下限，即是想得到此維護最佳策略結果，至少需付出之維護經費。	1. 同意辦理
2.適時投入合理經費整建橋梁應有助於延長橋梁使用壽命及減少中長程橋梁整建經費，相關延壽減費產生效益能否量化？	2.因計畫係以規劃 20~30 年群橋維修策略為目標，因此其規劃結果以 20 年整體橋梁皆不損壞為限制式，並不針對各橋梁進行壽齡評估，建議參考第三年報告成果針對單一橋梁進行壽齡評估。	2. 同意辦理
3.本計畫所發展模式，可否用於推估縣市政府群橋維護成本？	3.目前此計畫成果橋梁研究對象皆為公路總局管轄，如用至縣市政府橋梁，需重新收集各橋梁基本資料與耐震分析資	3. 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
	料，並調查橋梁所屬地震區域、河域之特性。再以相同分析流程即可進行群橋維護策略分析。	
4.國道橋梁係由高公局管養，並非國工局管養；市區道路橋梁係由縣市政府管養，並非營建署管養。相關文句內容請予修正。	4.感謝委員建議，相關字句皆已修正。	4. 同意辦理
六、本所港研中心第一科謝明志科長		
1.本研究以生物共生演算法，推估在有限預算下群橋維護之最佳排序，可協助橋管單位做出最佳維護決策。	1.感謝委員認同。	1. 同意辦理
2.補強與修復這兩用詞易遭誤認為相似，請於文中說明清楚其差異及可恢復之強度。	2.補強與修復在結構領域已進行定義，補強為至少提升至原設計能力以上，修復為回復至原有能力。	2. 同意辦理
3.本研究所開發之推估系統，其操作使用說明，請補充。	3.遵照辦理，如附錄增加說明。	3. 同意辦理
4.本系統如何更新，有否建置更新機制，如有新增橋梁或更新狀況評估表，使用者如何更新，以最新狀況進行推估。	4.遵照辦理，如附錄增加說明。	4. 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
七、本所港研中心第一科胡啟文助理研究員		
1. P2-8，表 2-2 臺灣橋梁主管機關及管理體系應不包含國工局，再請修正。	1.感謝委員建議，相關字句皆已修正。	1. 同意辦理
2.P3-15，E（Cost）將會回復到初始，該初始值之意義為何？請說明。	2.修正為在下一年度維護時，因第 1 座及第 10 座橋梁已進行維護，所以風險成本 E(Cost)將會降低。	2. 同意辦理
3.P4-2，表 4-2 梁式橋調查資料筆數與表 4-1 橋梁分組分佈表中之梁式橋數量前後不合，請查明。	3.因部分橋梁資料不完整，無法得知其車流量，故無法進行分類，造成可用資料筆數較少。	3. 同意辦理
4.P4-10，「…。詳細步驟說明如下：」，字體不一，再請修正。	4.感謝委員建議，相關字句皆已修正。	4. 同意辦理
5.P5-6，「…十組交叉驗證結果如表所示、跨河橋梁計算結果如表所示。」，語意不明，再請修正。	5.感謝委員建議，相關字句皆已修正。	5. 同意辦理
6.P6-18，說明提供使用者可自行更改系統中預算值，如何修改預算值，建議應於報告中說明或是編彙簡之操作手冊。	6.遵照辦理。	6. 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
八、本所港研中心第一科林雅雯研究員 1.網頁請再補充分年經費加總、維修費用排序、金額單位、老化、耐震及耐洪經費選擇顯示、橋梁各年度老化、耐震及耐洪性能值點選顯示、維修門檻值之設定、20 年總金額、列印…等。	1. 遵照辦理。	1. 同意辦理
2.請補充一座橋之計算例於附錄。	2.遵照辦理。	2. 同意辦理

附錄五

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(4/4)
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：鄭明淵 特聘教授

中華民國一百零三年十一月

簡報流程

壹 計畫背景及目的
貳 執行步驟
參 完成之工作項目及成果
肆 結論與建議

壹 計畫背景及目的(1/3)

•台灣因有**地震、颱風、豪大雨**等天然災害，造成橋梁**元件老化**速度加快。且公路老舊橋梁為數眾多，在橋梁生命週期中，如未適時與適當的進行維護補強，一旦橋梁遭受到天然災害，將導致橋梁損壞且對**用路人生命財產**安全造成危害，**社會經濟**也將隨之受到影響。

壹 計畫背景及目的(2/3)

因公路橋梁管理單位年度維護**預算有限**，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，除了考量**可視風險**與**潛勢危害**外，還必須考量橋梁之**重要性**與橋梁維修造成**社會成本**之損失。

因素
- 各工務段管理單位，橋梁維護預算有限。

結果
- 無法決定各橋梁的維護優先順序與時機。

壹 計畫背景及目的(3/3)

計畫目的

1.蒐集國內公路管理單位維護管理制度之資料

- 蒐集國內公路管理單位維護管理制度與相關文獻
- 公路橋梁管理單位訪談

2.確立重要性與非直接成本因子和社會成本

- 確立非直接成本因子
- 確立社會成本概算模式

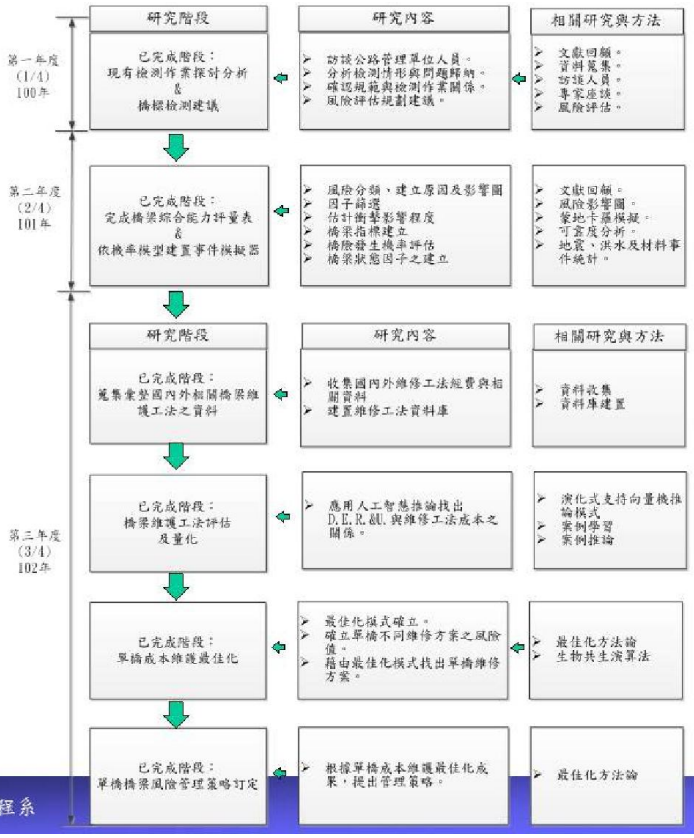
3.群橋成本維護最佳化

- 建置群橋成本維護最佳化模式
- 確立目標方程式

4.群橋橋梁風險管理策略訂定

- 群橋成本維護最佳化結果
- 根據群橋成本維護最佳化成果，提出管理策略

貳 執行步驟前三年度



貳 執行步驟-本年度

研究階段	研究內容	相關研究與方法
第一階段： 蒐集相關文獻	➢ 蒐集與維護橋樑維護管理制度 ➢ 蒐集各工程處歷年橋樑維護預算 ➢ 彙整橋樑維護重要性非直接成本因子 ➢ 彙整評估社會成本之相關文獻	➢ 專家訪談 ➢ 資料與文獻收集
第二階段： 訂定非直接成本因子和社會成本	➢ 確認橋梁重要性與非直接成本因子 ➢ 確立用路人成本概算模式	➢ 文獻收集 ➢ 篩選重要性與非直接成本因子 ➢ 因子量化成社會成本 ➢ 人工智慧推導
第三階段： 群橋維護成本最佳化	➢ 建置群橋維護策略策略最佳化模式 ➢ 確立目標方程式 ➢ 藉由最佳化模式在有限經費下找出群橋維修方案	➢ 收集各工程處歷年維護經費 ➢ 最佳化方法論 ➢ 生物共生演算法
第四階段： 群橋橋梁風險管理策略訂定	➢ 彙整群橋維護策略最佳化結果 ➢ 根據群橋維護策略最佳化結果，提出群橋風險管理策略	➢ 最佳化方法論

第四年度
(4/4)
103年

貳 執行步驟

一 蒐集相關文獻 1.蒐集橋梁維護管理制度與相關文獻

(1) 蒐集國內現有公路管理單位維護管理制度手冊與相關報告

本研究之研究對象為**公路總局**所管理的**混凝土橋梁**，因公路總局所轄橋梁遍及台灣各地，是最具有代表性的單位，且其在**TBMS**系統建置的資料最為齊全。另外，台灣橋梁以鋼筋混凝土結構應用最廣有95%以上為混凝土橋梁。

(2) 蒐集重要性與非直接成本因子和社會成本文獻

擬蒐集**國內外橋梁維護管理排序**方法考量之因素，與橋梁維護**重要性、非直接成本因子**與**社會成本**等相關文獻。

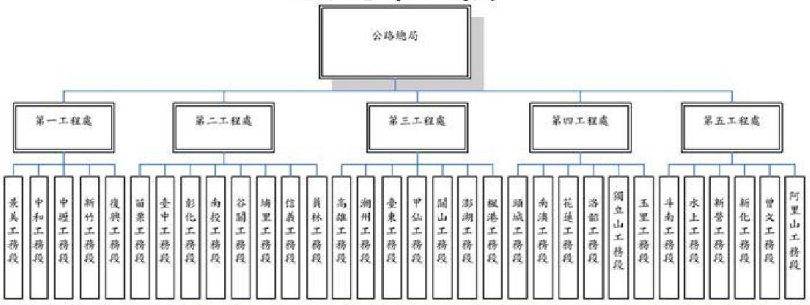
一 蒐集相關文獻 1.蒐集橋梁維護管理制度與相關文獻

(1) 蒐集國內現有公路管理單位維護管理制度手冊與相關報告

※國內橋梁維護經費制度如下：

本研究之對象為**公路總局**，公路總局隸屬於**行政院交通部**，其下層管理機關總共有**5個工程處**，各工程處其下又有**6~8個工務段**。在預算編列時各處會統計各**段**之預算需求，彙整後跟**局**本部報告，局本部報告至行政院後再把各部之預算彙整後給**立法院**，立法院依據年度預算增減，將總預算給**局本部**，**局本部**再跟各**處**討論**預算分配**，最後各處再把預算分配給各**段**。

公路總局組織圖



一 蒐集相關文獻 1.蒐集橋梁維護管理制度與相關文獻

(1) 蒐集國內現有公路管理單位維護管理制度手冊與相關報告

※國內橋梁種類與所屬維護管理單位分類如下：

橋梁種類	國內橋梁維護管理單位
縣、鄉道橋梁	地方縣市政府、鄉公所管養，或委由公路總局代養
國道橋梁	國工局、高公局（屬交通部）管養
省道橋梁	**公路總局（屬交通部）管養**
鐵路橋梁	一班鐵路由鐵路局（屬交通部）管養、森林鐵路由林務局（農委會）管養，台糖專用鐵路由經濟部管養
市區道路橋梁	內政部營建署管養
產業道路橋梁	農委會或地方縣市政府、鄉公所管養
專用道路橋梁	如台電（屬經濟部）或港務局（屬交通部）

本研究選定的橋梁維護管理單位為公路總局。

一 蒐集相關文獻 1.蒐集橋梁維護管理制度與相關文獻

(1) 蒐集國內現有公路管理單位維護管理制度手冊與相關報告

公路總局:86~91年度維護管理總預算表 （單位:仟元）

	維護管理預算說明	86 年度	87 年度	88 年度	88 下及 89 年度	90 年度	91 年度
1	公務預算	12, 577, 075	14, 601, 735	16, 810, 907	46, 508, 796	32, 703, 000	19, 334, 700
2	汽燃費分配款						
	公路養護計畫	3, 986, 134	3, 647, 268	3, 327, 886	12, 571, 527	8, 795, 225	8, 961, 778
	補助及捐助部分	791, 000	791, 000	791, 000	5, 416, 485	0	0
	小計	4, 777, 134	4, 438, 268	4, 118, 886	17, 988, 012	8, 795, 225	8, 961, 778
	養護經費佔全部經費比例	23. 9%	20. 2%	17. 3%	27. 4%	21. 2%	31. 7%
3	交通建設基金						
	公路、橋梁拓寬改建（善）工程	2, 663, 000	2, 911, 721	2, 916, 957	1, 113, 000	0	0
公路局總預算金額		20, 017, 209	21, 951, 724	23, 846, 750	65, 609, 808	41, 498, 225	28, 296, 478

資料來源:[1]

由上可知橋梁86~91年度公路總局維護管理總預算(包含道路、橋梁、山坡地、隧道)，可了解養護費佔年度整體費用平均**約23%**。

一 蒐集相關文獻 1.蒐集橋梁維護管理制度與相關文獻

(1) 蒐集國內現有公路管理單位維護管理制度手冊與相關報告

公路總局:89~102年度二區工程處橋梁維護管理預算表 （單位:元）

	89	90	91	92	93	94	95	96
改建工程與耐震補強	96,559,340	69,872,010	1,307,664,772	603,196,860	41,229,817	314,533,119	270,001,872	543,926,107
一般維護	792,170,152	560,295,508	1,235,476,620	1,492,957,811	487,295,820	544,371,315	686,818,594	130,859,164
總共	888,729,492	630,167,518	2,543,141,393	2,096,154,671	528,525,637	858,904,434	956,820,466	674,785,271
備註		桃芝、納莉						

	97	98	99	100	101	102	平均	標準差
改建工程與耐震補強	850,484,338	2,930,215,800	172,269,072	374,509,528	544,719,412	754,249,933	633,816,570	826,328,258
一般維護	2,081,595,539	1,872,802,266	565,846,268	174,065,570	59,261,735	142,909,012	773,337,527	618,198,916
總共	2,932,079,877	4,803,018,066	738,115,340	548,575,099	603,981,147	897,158,945	1,407,154,097	1,186,531,616
備註	蓉蜜、辛樂克	莫拉克颱風						

資料來源:政府電子採購網[2]

因公路總局維護管理總預算包含山坡地、道路與橋梁，本研究為得知橋梁之歷年維護預算，從政府採購網蒐集各區工程處之歷年預算，包含一般維護、耐震補強與改建工程。

一 蒐集相關文獻 1.蒐集橋梁維護管理制度與相關文獻

(2) 蒐集重要性與非直接成本因子和社會成本文獻

橋梁維護優先順序

- 各國在定義**橋梁維修優選排序**時，考量因素有**重要性因子權重**與**橋梁生命週期成本**、**橋梁管理單位維護預算限制**等方式來管理橋梁之維護策略，目前國內之研究較偏向美國以重要性相關因子權重的方式決定。
- 本研究整理出國內外目前相關**橋梁維護排序方法**與各國橋梁管理單位**優選排序**考量之因素。

一 蒐集相關文獻 1.蒐集橋梁維護管理制度與相關文獻

(2) 蒐集重要性與非直接成本因子和社會成本文獻

各國橋梁維護優先順序考量因素:

國家/系統	橋梁優先排序考量因素	國家/系統	橋梁優先排序考量因素
台灣	1.橋梁的重要性等級 2.結構性指標 3.特殊性指標 4.服務性指標 5.易損性指標	德國	1.橋梁的情況 2.橋梁破壞的程度與後果 3.道路等級 4.橋面板的淨空度 5.交通安全 6.合宜的人員
芬蘭	維修的指標(結構元件的破壞程度和傷害造成維修的緊急等級)	比利時	結構物可靠度的風險
法國	1.橋梁的情況 2.道路等級 3.地方管理單位的有限預算 4.地方政府維修的可行性(考察與維修) 5.政治	葡萄牙	1.橋梁的情況 2.傷害的範圍與結果 3.交通的安全性 4.維修成本的最小化
挪威	1.橋梁破壞的程度與後果 2.調查並考量技術性或替代策略 3.評估價值工程(直接成本與非直接成本)	英國	1.全生命週期 2.安全性指標 3.政治
美國各州	橋梁的重要性等級	美國加州(DOT)	效率成本比率

資料來源:[3]、[4]、[5]

一 蒐集相關文獻 1.蒐集橋梁維護管理制度與相關文獻

(2) 蒐集重要性與非直接成本因子和社會成本文獻

重要性類別與非直接成本因子:

- 目前國內評估橋梁維護優先順序的研究方法有**橋梁綜合評估指標[5]**與**橋梁重要程度等級評定[7]**等方式，此架構是先將評估指標**層級化**，建立各層級之相關因子，再請專家評估各項橋梁評選因子，建立各因子之**權重**，最後以每一座橋梁之條件代入算出積分，以積分**高至低之方式**排序。

- 本研究彙整國內外決定橋梁維護優先順序的**重要性與非直接成本因子**的相關文獻，並以**層級**之方式將各項非直接成本因子建立其類別，後續將依據各類別考慮之非直接因子，將其量化成社會成本，以應用在模式最佳化排序中。

一 蒐集相關文獻 1.蒐集橋梁維護管理制度與相關文獻

(2) 蒐集重要性與非直接成本因子和社會成本文獻

重要性與非直接成本因子文獻來源與說明:

文獻來源類別	文獻相關說明
TBMS[6]	Taiwan Bridge Management System為**台灣地區橋梁管理系統**，簡稱TBMS，目前提供公路總局與各縣市政府橋梁管理單位使用。**為了使本研究非直接成本因子找出相符之對應，故列出此類別。**
公路總局[7]	蔣偉等、顏上堯等人，**橋梁重要程度等級之建立**，交通部公路總局委託中央大學執行之研究計畫，2004。
運輸研究所[5]	姚乃嘉、黃榮堯等人，**縣市政府所轄老舊橋梁改善可行性評估**，交通部運輸研究所委託執行之研究計畫，2008。
葉士青，2004[8]	葉士青，**台灣公路橋梁重要等級評估之研究**，中央大學，2004。
Mod.B&H'91[6]	Mod.B&H'91 是Babaei and Hawkins的簡稱，為**Washington DOT(Department of Transportation)華盛頓州交通部**採用的重要性評估方法（Importance Rating）。其中，重要性因素有考慮通過此橋之道路種類、橋梁所橫跨之道路種類、橋長、附掛於橋上之維生管線、橋上/橋下之ADT及改道長度等因素。
Mod.Buckle'95 [7]	Mod Buckle'95是**New York DOT紐約州交通部**採用的重要性評估方法，Buckle方法考慮橋梁之重要性因素為是否是重要設施、是否位於運輸路網、是否為國防之用、ADT、附掛於橋上之維生管線數、改道長度及橋梁功能分類等因素。
Montana[7]	Montana DOT是**蒙大拿州交通部**採用的重要性評估方法，評估方法考慮因素有橋上/下之平均日交通量、改道長度、橋梁所橫跨之道路種類、通過此橋之道路種類及橋長等。
Nevada[7]	Nevada DOT是**內華達州交通部**採用的重要性評估方法，Nevada方法考慮之重要性因素有道路種類、交通量、改道長度、維生管線、道路是否為防衛之用及橋上/下是否有鐵路通過等。
South Carolina[7]	South Carolina DOT是**南卡羅來州交通部**採用的重要性評估方法。將橋梁分成ICI及ICII兩種等級，ICI為較重要之橋梁，考慮的重要因素如跨越或位於州際公路、位於卡車或國防公路網上，或提供通往發電廠、緊急救援及水資源處理設施之要道。
Missouri [7]	Missouri DOT是**密西比州交通部**採用的重要性評估方法，考慮因素為橋長、橋梁所橫跨之道路寬、橋上/橋下車道數、ADT、道路重要性及改道長度等。
Illinois[7]	Illinois DOT是**伊利諾州交通部**採用的重要性評估方法，Illinois方法考慮之重要性因素有服務類型、橋長、橋寬、交通量、改道長度、維生管線、國防用途等。
European BRIME[4]	**Bridge Management in Europe(BRIME)**為歐盟的各個國家如英國、法國、德國、挪威等一同進行研究的公路管理計畫，主要目的為發展橋梁管理架構系統Bridge Management System(BMS)。在決定橋梁維護的文獻中引用(Vassie, 1997 和 Mechanical Engineer's Handbook, 1998)的方法，決定橋梁維護的優先順序中考慮的重要性因素有道路等級、交通量、橋梁的位置與歷史的價值等考量。

一 蒐集相關文獻 1.蒐集橋梁維護管理制度與相關文獻

(2) 蒐集重要性與非直接成本因子和社會成本文獻

重要性類別與非直接成本因子說明

類別	非直接成本因子	因子說明
經濟衝擊	橋梁長度	橋長越長，當受損時可能影響之車輛人員安全之可能亦愈高，通過橋上之車輛人員相對較多，可能影響之車輛人員安全之可能性亦愈高，當災害發生橋梁受損時，相對相關之維修費用亦會較高。
	橋梁寬度	橋梁的寬度越寬代表車道越多
	改道長度	橋梁損壞禁止通行後，使用者改道通行之長度，使用路人成本增加，旅行時間增長，使用者將花費更多時間成本。
	道路等級	依公路法之定義，道路等級愈高在交通運輸、經濟的重要性愈重要，以國道、省道、縣道與鄉鎮道路區分。[公]
	橋上交通量	橋上交通量直接突顯橋梁服務用路人之重要性，交通量越大，表示橋梁使用量越大，交通量資料為橋梁重要等級評定中之重要關鍵因素。
	功能分類	屬於市區或郊區公路。
	車道數	車道的數量
	服務類型	僅供車行或同時供車輛及行人通行
	全國性路網	橋梁是否位於運輸路網之位置，如瓶頸路或主要連結點
生命安全	橋梁長度	橋長越長，當受損時可能影響之車輛人員安全之可能亦愈高，通過橋上之車輛人員相對較多，可能影響之車輛人員安全之可能性亦愈高，當災害發生橋梁受損時，相對相關之維修費用亦會較高。
	橋上交通量	橋上交通量直接突顯橋梁服務用路人之重要性，交通量越大，表示橋梁使用量越大，交通量資料為橋梁重要等級評定中之重要關鍵因素。
	橋下交通量	當橋梁有跨越其他道路時，若發生事故對橋下道路之影響也會隨之發生，對生命安全也會造成衝擊。
	功能分類	屬於市區或郊區公路。
	老舊橋梁	老舊橋梁較易因其功能不符合需求，或設計條件歷經規範修改已不符現行設計規範之要求，或因材料已歷經多年，較易有材料疲勞及劣化損壞之說明。
維生管線	維生管線	維生管線指附掛橋梁上之民生管線，如自來水管、油管、瓦斯管、電力或電信管線等，一旦橋梁受損導致管線損壞，將衝擊到特定區域之民生、農業及工業等用水或用電，甚至於影響整個電信系統的運作。
緊急應變系統	緊急應變系統	用以量度災害發生並造成橋梁破壞之後，對仰賴運輸系統完整有效之緊急應變之衝擊。
國防用途	戰略位置	在國防用途上橋梁所在位置對軍事之重要性。
	後勤補給路線	對於橋梁損毀時，部隊移防，後勤補給之路線都將有影響。
歷史價值	古蹟	依文化資產保存法經相關主管機關指定、公告之歷史文化遺蹟或未被指定為古蹟，但能夠彰顯歷史、文化價值之橋梁。
	工程技術特殊性	使用特殊工法興建之橋梁，或為某特殊工法第一次使用之橋梁，具有一定工程上之價值。

 資料來源:本研究整理

一 蒐集相關文獻 1.蒐集橋梁維護管理制度與相關文獻

(2) 蒐集重要性與非直接成本因子和社會成本文獻

重要性類別與非直接成本因子表

類別	資料來源 / 非直接成本因子	公路總局[7]	運輸研究所[5]	葉士青2004[8]	Mod. B&H'91	Mod.Buckle'95	Montana	Nevada	South Carolina	Missouri	Illinois	European BRIME	TBMS[6]
經濟衝擊	橋梁長度	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎	◎			◎
	橋梁寬度							◎	◎	◎	◎		◎
	改道長度	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎
	道路等級	◎		◎	◎		◎	◎		◎		◎	◎
	橋上交通量	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎
	功能分類					◎							◎
	車道數							◎		◎			◎
	服務類型							◎			◎		
	全國性路網								◎			◎	
生命安全	橋梁長度	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎	◎			◎
	橋上交通量	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎
	橋下交通量	◎	◎										
	功能分類			◎	◎	◎							◎
	跨河橋梁						◎		◎				
	車道數							◎		◎			◎
	老舊橋梁		◎										
維生管線	維生管線	◎	◎	◎	◎	◎		◎			◎		◎
緊急應變系統	緊急應變系統	◎	◎										
國防用途	戰略位置	◎	◎			◎		◎	◎		◎		
	後勤補給路線	◎											
歷史價值	古蹟	◎										◎	
	工程技術特殊性	◎	◎										

資料來源:本研究整理

一 蒐集相關文獻 1.蒐集橋梁維護管理制度與相關文獻

(2) 蒐集重要性與非直接成本因子和社會成本文獻

社會成本計算方式:

本研究整理國內相關社會成本文獻，其成本項目如**駕駛人延時、車輛運行、事故發生、噪音汙染**等成本項目，依各項目建立其類別包括**經濟衝擊、生命安全、環境**等因素。後續將各類別篩選後非直接成本因子，量化成橋梁維修造成社會損失之成本。

重要性類別與非直接成本概算表（元/天）

成本類別	成本項目	計算公式	文獻	說明
經濟衝擊	駕駛人延時成本	$(\frac{L}{S_2}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times w$	[9-11]	Li：維修形管理路長度（Km） Sa：維修時車行速度（Km） Sn：平日車行速度(Km/hr) ADT：每日平均交通流量（輛/日） W：駕駛人平均每小時時間價值（元/hr） r：車輛平均每小時燃料及折舊成本（元/hr） Ca：每次事故成本（元/次） Aa：施工過程事故發生率（次/百萬輛公里） An：平日事故發生率（次/百萬輛公里） Nc：噪音降低願支付金額（元） dB：噪音分貝值 APC：空氣污染成本（元） CW：施工封閉寬度（m） ICC:工商衝擊成本(元) CH: 影響區域商家總數 CCL:商家平均損失金額
	車輛運行成本	$(\frac{L}{S_a}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times r$	[9-11]	
生命安全	事故發生成本	$L\times ADT\times(A_a-A_n)\times C_a$	[9-11]	
環境衝擊	噪音汙染成本	Nc=15.31403△dB+1412.052631	[12]	
	空氣汙染成本	APC=(244.146637×CW+608.940294)×L	[12]	
工商衝擊	商家損失金額	ICC=CH×CCL	[13]	

資料來源:本研究整理

貳 執行步驟

一 蒐集相關文獻 2.訪談公路橋梁管理單位

1. 專家訪談，並彙整國內現有**公路管理單位維護管理制度**。(2014年4、5月間，已訪談公路總局何副座與運輸研究所蘇振維組長)
2. 蒐集國內公路橋梁管理單位維護管理制度，**確立國內經費編列之方式與歷史經費紀錄**。

目的

訪談公路橋梁管理單位，針對維護管理制度等問題進行討論，如重要性排序、社會成本及預算限制等，後續即可已依照其建議，擬定群橋維護之策略。

貳 執行步驟

二 訂定非直接成本因子與社會成本:

本研究蒐集了11篇相關因子文獻，在完成重要性類別與非直接成本因子彙整後，將對因子進行篩選。

類別	文獻來源 / 非直接成本因子	公路總局[9]	運輸研究所[4]	葉士青2004	Mod. B&H'91	Mod.Buckle'95	Montana	Nevada	South Carolina	Missouri	Illinois	European BRIME
經濟衝擊	橋梁長度	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎	◎		
	橋梁寬度							◎	◎	◎	◎	
	改道長度	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
	道路等級	◎		◎	◎		◎	◎		◎		◎
	橋上交通量	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎
	功能分類					◎						
	車道數							◎		◎		
	服務類型							◎			◎	
	全國性路網								◎			◎
生命安全	橋梁長度	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎	◎		
	橋上交通量	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎
	橋下交通量	◎	◎									
	功能分類			◎	◎	◎						
	跨河橋梁						◎		◎			
	車道數							◎		◎		
	老舊橋梁		◎									
維生管線	維生管線	◎	◎	◎	◎	◎		◎			◎	
緊急應變系統	緊急應變系統	◎	◎									
國防用途	戰略位置	◎	◎			◎		◎	◎		◎	
	後勤補給路線	◎										
歷史價值	古蹟	◎										◎
	工程技術特殊性	◎	◎									

貳 執行步驟

二 訂定非直接成本因子與社會成本(用路人成本):

經濟衝擊:社會經濟層面難以量化評估，本研究考慮用路人額外成本。

生命安全:本研究納入考量。

維生管線:非公路總局管轄範圍，不易量化，故不納入

緊急應變系統、

國防用途、歷史價值:多編列特別預算，不在平時維護範圍內。

篩選後之重要性與非直接成本因子表

類別	非直接成本因子	總計
經濟衝擊	橋梁長度	8
	改道長度	10
	道路等級	7
	橋上交通量	10
生命安全	橋梁長度	8
	橋上交通量	10

貳 執行步驟

二 訂定非直接成本因子與社會成本(用路人成本):

將上述篩選後因子歸納成經濟衝擊與生命安全兩類別，如下表所示。這些因子與用路人旅行成本有關，因此本計畫將其重新定義為用路人直接成本因子。

類別	重要性與非直接成本因子	代號
經濟衝擊	橋梁長度	L
	改道長度	L'
	道路等級	S
	橋上交通量	ADT
生命安全	橋梁長度	L
	橋上交通量	ADT

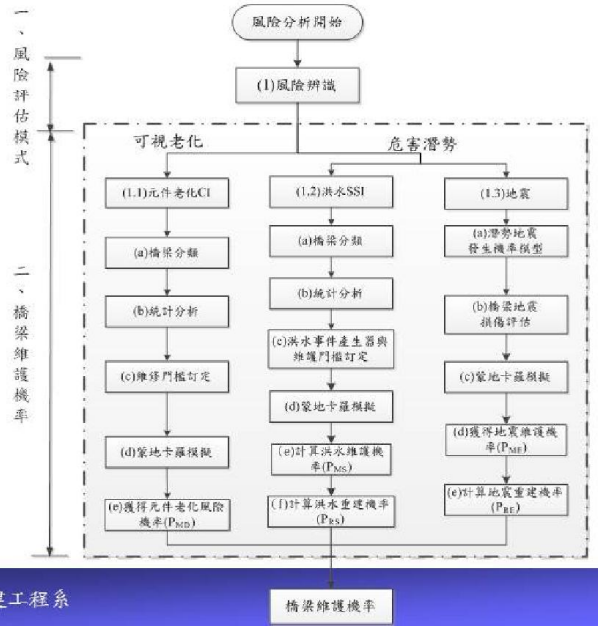
用路人成本概算表（元/天）

社會成本				
類別編號	成本項目	道路狀況	計算公式	說明
I	旅行延時成本	部分封閉	$(\frac{L}{S_a}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times W\times NP$	L 為因子橋梁長度與改道長度變化部分 L：維修影響的道路長度(Km) L'：橋梁的改道長度(Km) S 為道路等級變化之部分，因不同道路等級平時行車速度不同 Sa：維修時車行速度(Km/hr) Sn：平日車行速度(Km/hr) ADT 為橋上交通變化部分 ADT：每日平均交通流量(輛/日) W：旅行平均每小時時間價值(元/hr) NP:平均乘載駕駛人 r：車輛平均每小時燃料及折舊成本(元/hr) An：車輛事故發生率（次/百萬輛公里） Ca：每次事故成本（元/次）
		完全封閉	$(\frac{L'}{S_a}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times W\times NP$	
II	車輛運行成本	部分封閉	$(\frac{L}{S_a}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times r$	
		完全封閉	$(\frac{L'}{S_a}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times r$	
III	事故發生成本	完全封閉	$(L'-L)\times ADT\times A_n\times C_a$	

備註:事故發生成本部分，經由文獻[16]可得知，施工期間施工區肇事機率無明顯增加(An=Aa)，因此本研究不考慮橋梁部分封閉

貳 執行步驟

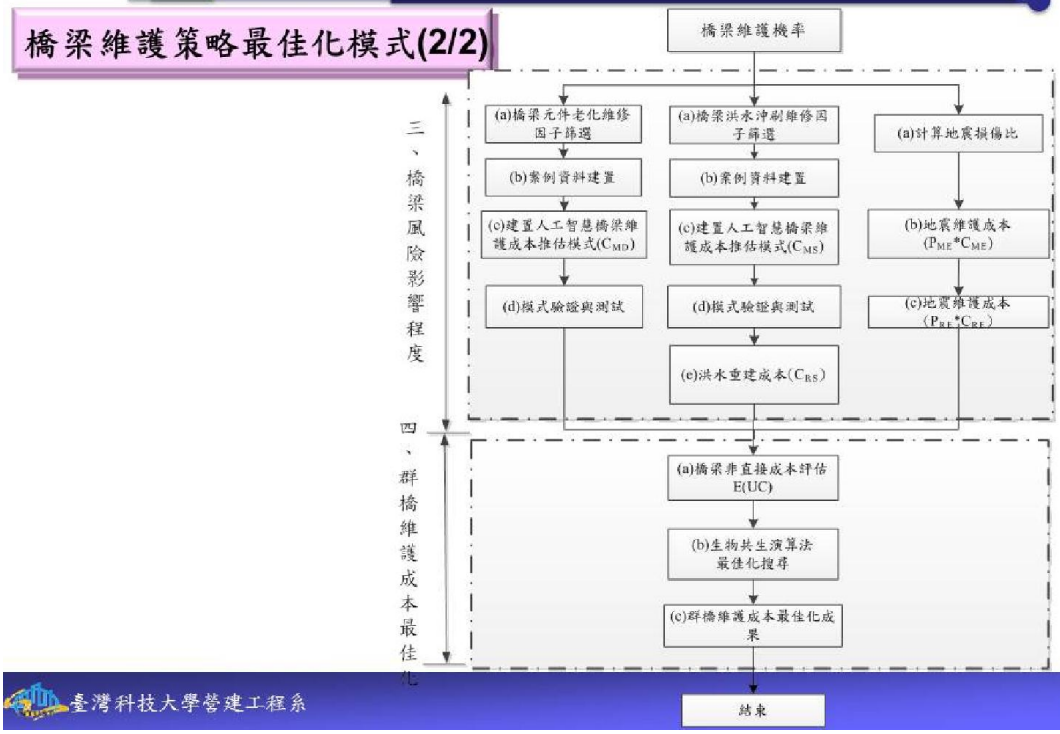
三 群橋維護成本最佳化-橋梁維護策略最佳化模式(1/2)



臺灣科技大學營建工程系

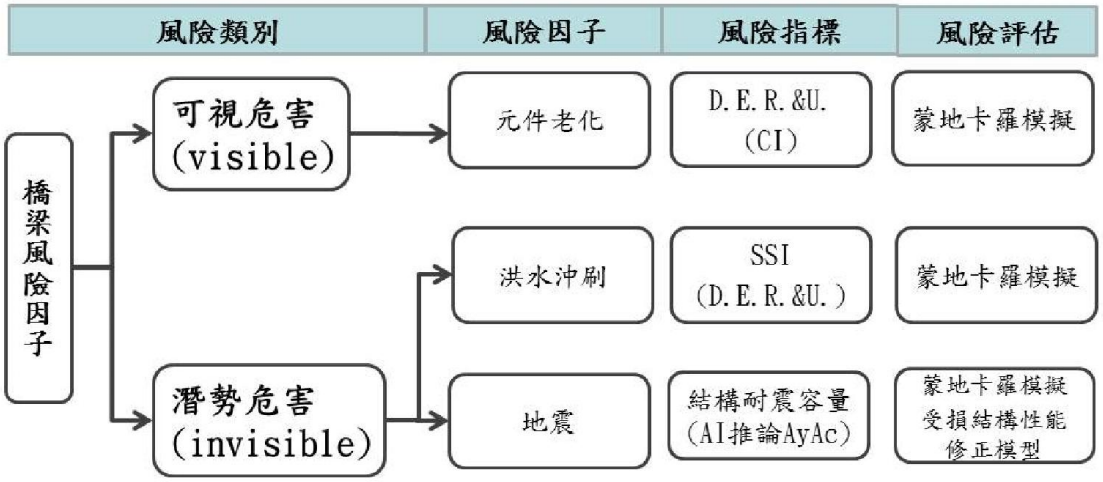
貳 執行步驟

橋梁維護策略最佳化模式(2/2)



貳 執行步驟

風險因子評估



貳 執行步驟

群橋成本維護最佳化模式E_B(Cost)

風險下維護成本　損害重建成本　用路人成本

$$E_{Bij}(Cost) = E(MC) + E(RC) + E(UC)$$

E_{Bij}(Cost): Bridges Expected Cost，為第i年第j座橋梁之風險期望成本(j為同一管理單位之橋梁)。

E(MC):Maintenance Cost，為風險下維護成本。

E(RC): Rebuilding Cost，為橋梁在未維修狀態下因地震或洪水損害造成之重建成本。

E(UC):User Cost，因災害發生，造成橋梁中斷完全改道或是維護部分改道之用路人成本。

貳 執行步驟

風險下維修成本E(MC)

Visible　　Invisible

$$E(MC) = \left(P_{MD_{ij}} \times C_{MD_{ij}} + P_{MS_{ij}} \times C_{MS_{ij}} + P_{ME_{ij}} \times C_{ME_{ij}}\right)$$

***i*某段期間橋梁的使用年限，本研究*i*=1~20年**

j:為同一橋管單位之第j座橋梁

P_{MD}:元件老化之維護機率值(Maintenance Probability Caused by Deterioration)

P_{MS}:洪水造成之維護機率值(Maintenance Probability Caused by Scour)

P_{ME}:地震之維護機率值(Maintenance Probability Caused by Earthquake)

C_{MD}:元件老化造成橋梁損壞之維護成本(Maintenance Cost of Deterioration)

C_{MS}:洪水造成橋梁損壞之維護成本(Maintenance Cost of Scour)

C_{ME}:地震造成橋梁損壞之維護成本(Maintenance Cost of Earthquake)

貳 執行步驟

損害重建成本E(RC)

$$E(RC) = \left(P_{S_{ij}} \times C_{RS_{ij}} + P_{E_{ij}} \times C_{RE_{ij}}\right)$$

***i*某段期間橋梁的使用年限，本研究*i*=1~20年**
j:為同一橋管單位之第j座橋梁

P_S:洪水造成斷橋之風險機率值(Bridge Broken Probability of Scour)

P_E:地震造成斷橋之風險機率值(Bridge Broken Probability of Earthquake)

C_{RS}:因洪水造成斷橋之重建成本(Rebuilding Cost of Scour)

C_{RE}:因地震造成斷橋之重建成本(Rebuilding Cost of Earthquake)

貳 執行步驟

用路人成本E(UC)

$$E(UC) = \underbrace{\left(P_{S_{ij}} \times C_{U_{ij}} + P_{E_{ij}} \times C_{U_{ij}}\right)}_{\text{完全封閉}} + \underbrace{\left(P_{MD_{ij}} \times C_{U_{ij}}' + P_{MS_{ij}} \times C_{U_{ij}}' + P_{ME_{ij}} \times C_{U_{ij}}'\right)}_{\text{部分封閉}}$$

C_U:橋梁完全封閉之用路人成本(User Cost of Entire Closed Bridge)
C_U':橋梁部分封閉之用路人成本(User Cost of Partial Closed Bridge)

P_S:洪水造成斷橋之風險機率值(Bridge Broken Probability of Scour)

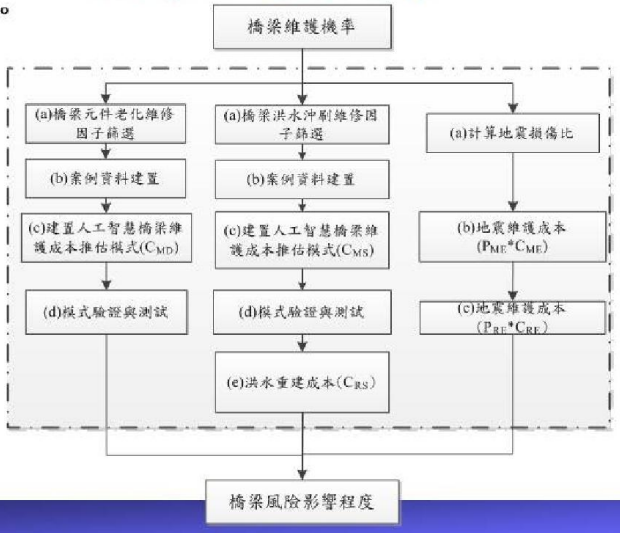
P_E:地震造成斷橋之風險機率值(Bridge Broken Probability of Earthquake)

P_{MD}:元件老化之維護機率值(Maintenance Probability Caused by Deterioration)
P_{MS}:洪水造成之維護機率值(Maintenance Probability Caused by Scour)
P_{ME}:地震之維護機率值(Maintenance Probability Caused by Earthquake)

貳 執行步驟

風險影響程度(已於前三年進度中完成)

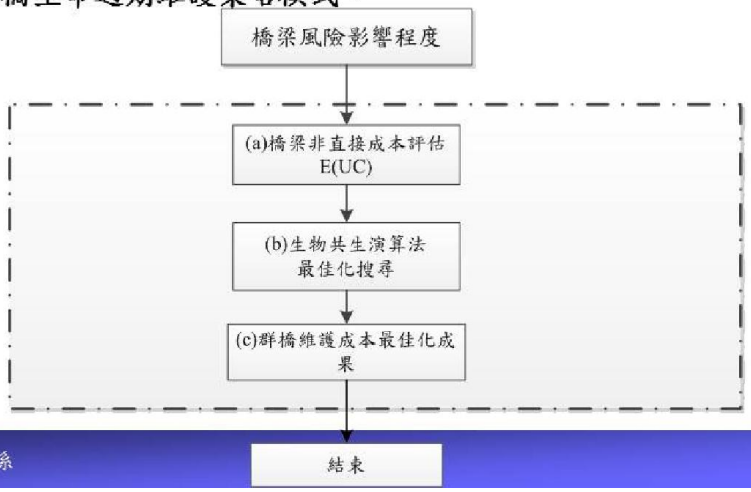
分別計算橋梁維護機率(P_{MD}、P_{MS}、P_{ME}、P_{RS}、P_{RE})，結合人工智慧推論橋梁維護成本，得到考慮風險下之橋梁維護成本。視為對橋梁造成之風險影響程度。



貳 執行步驟

群橋維護策略

在維護策略模式中風險成本部分考慮了老化、洪水、地震的維護成本，還有洪水與地震造成之重建成本，最後再加上非直接成本因子量化後的用路人直接成本，以發展群橋生命週期維護策略模式。



貳 執行步驟

用路人成本因子計算

分別計算用路人旅行延時成本、車輛運行成本、事故發生成本

	社會成本			
類別編號	成本項目	道路狀況	計算公式	說明
Ⅰ	旅行延時成本	部分封閉	$(\frac{L}{S_a}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times W\times NP$	L 為因子橋梁長度與改道長度量化部分 L：維修影響的道路長度(Km) L'：橋梁的改道長度(Km) S 為道路等級量化之部分，因不同道路等級平時行車速度不同 Sa：維修時車行速度(Km/hr) Sn：平日車行速度(Km/hr) ADT 為橋上交通量量化部分 ADT：每日平均交通流量(輛/日) W：旅行平均每小時時間價值(元/hr) NP:平均乘載駕駛人 r：車輛平均每小時燃料及折舊成本(元/hr) An：車輛事故發生率（次/百萬輛公里） Ca：每次事故成本（元/次）
		完全封閉	$(\frac{L'}{S_n}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times W\times NP$	
Ⅱ	車輛運行成本	部分封閉	$(\frac{L}{S_a}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times r$	
		完全封閉	$(\frac{L'}{S_n}-\frac{L}{S_n})\times ADT\times r$	
Ⅲ	事故發生成本	完全封閉	$(L'-L)\times ADT\times A_n\times C_a$	

貳 執行步驟

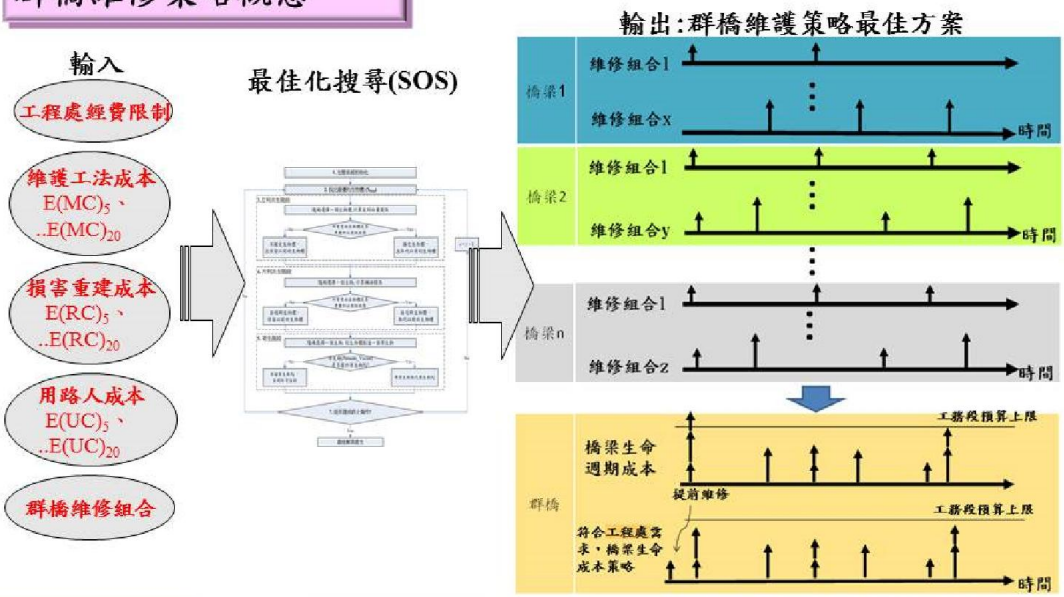
用路人成本因子計算

以第二區工程處為例:

橋名	工務段	所在區鄉	更新後車流	替代道路(km)	橋長(km)	旅行延時成本		車輛運行成本		事故成本	用路人成本
						部分封閉	完全封閉	部分封閉	完全封閉	完全封閉	總和
萬年橋-台14線	埔里	仁愛	960	10.983	0.0119	192	40,887	12	2,449	6,293	55,520
大庄橋-苗栗	苗栗	後龍	9,620	0.35	0.044	204	4,564,767	8	181,779	467,008	23,867
山下橋	苗栗	頭份	9,620	0.85	0.009	681	4,564,053	27	181,751	466,935	60,722
蟠桃橋	苗栗	頭份	9,620	0.45	0.0066	1,021	4,563,542	41	181,730	466,883	32,095
尖山大橋	苗栗	頭份	11,038	4.9	0.432	1,226	4,563,236	49	181,718	466,851	389,344
後龍溪橋	苗栗	後龍	12,013	7.2	0.34	6,128	4,555,882	244	181,425	466,099	633,010
尖山陸橋	苗栗	頭份	9,620	0.9	0.04	2,259	3,783,620	90	150,672	387,091	63,435
尖山下橋	苗栗	頭份	9,620	1.9	0.0104	77	3,342,803	5	200,255	514,476	136,006
公館仔橋	苗栗	頭份	9,620	1.9	0.035	240	2,684,050	10	106,885	274,597	135,312
南港溪橋	苗栗	竹南	9,620	2.8	0.075	5,065	2,676,814	202	106,597	273,857	198,747
談文橋	苗栗	造橋	9,620	0.35	0.01	1,571	1,968,741	63	78,400	201,416	24,826
九車籠橋	苗栗	造橋	9,620	8	0.0105	1,571	1,968,741	63	78,400	201,416	573,594
後壁厝橋	苗栗	後龍	9,620	2.5	0.01	2,857	1,966,813	114	78,323	201,219	179,059
南社橋	苗栗	後龍	9,620	2.3	0.0349	2,999	1,966,599	119	78,314	201,197	164,009
大埔橋	苗栗	西湖	9,620	1.4	0.03	116,214	1,671,054	4,628	66,545	170,961	99,585
⋮											
美田橋	台中	清水區	23,431	0.75	0.03	293	382,696	12	15,240	39,153	91,030
清秀橋	台中	清水區	23,431	3.1	0.036	1,336	353,922	80	21,202	54,470	380,795
中華陸橋-台一線	台中	梧棲區	23,431	0.75	0.3016	149,678	233,756	5,961	9,309	23,915	110,331
茂良橋	台中	龍井區	23,431	1.8	0.03	797	362,947	32	14,453	37,132	312,444
山腳橋	台中	龍井區	23,431	1.1	0.135	6,281	354,872	250	14,132	36,306	128,816
龍田陸橋	台中	龍井區	23,431	0.75	0.44	17,377	338,227	692	13,469	34,603	69,882

貳 執行步驟

群橋維修策略概念



貳 執行步驟

生物共生演算法最佳化搜尋:

SOS共使用三種生物自然互動的模式[16]:

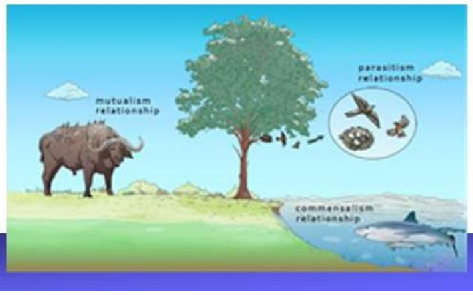
(1)互利共生

(2)片利共生

(3)寄生

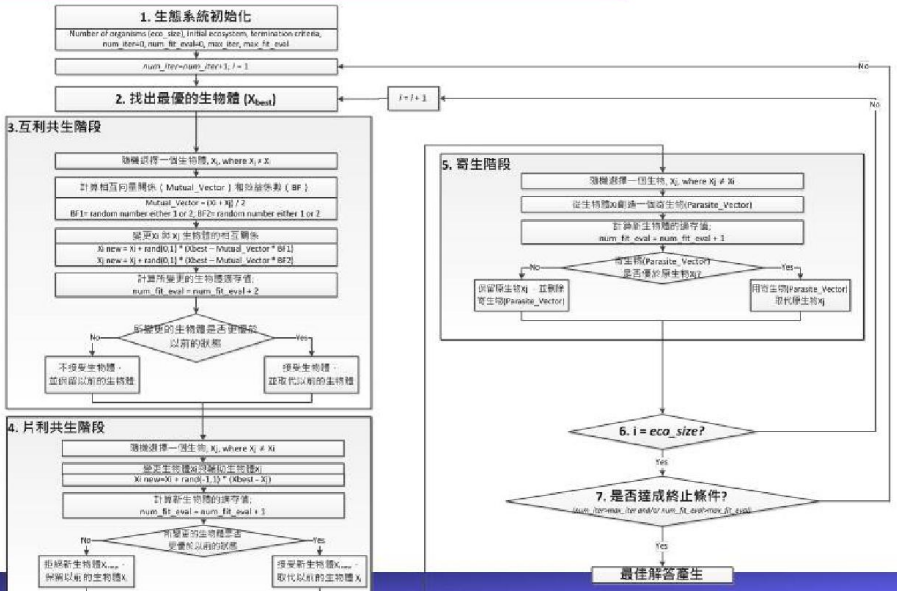
本研究將設定SOS演算法中的生物體數量為50個，且每一個生物體即代表一種維護策略組合。

最後，在迭代過程中會找出最好的適存值維護策略。



貳 執行步驟

生物共生演算法最佳化搜尋(七個步驟):



貳 執行步驟

群橋最佳化模式之目標方程式:

$$\text{Min}E_{GT}(\text{Cost}) = \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} E_{Bij}(\text{Cost})$$

$E_{GT}(\text{Cost})$:群橋風險成本(Total Risk Cost of Group Bridges)。

$\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} E_{Bij}(\text{Cost})$

將各橋梁之風險期望成本$E_B(\text{Cost})$加總可得到**群橋風險期望成本$E_{GT}(\text{Cost})$**，本研究以求得**Min $E_{GT}(\text{Cost})$**為目標下進行最佳化搜尋。

貳 執行步驟

限制式:

For i=1 to 20

Subject to $\sum_{j=1}^{m} E_{ij}(MC) \le B_i$

END

m:工務段轄區橋梁總數
Bi:第i年度預算(Budget)
j:為同 一管理單位之橋梁
i:某段期間橋梁的使用年限

以第i年為例，最佳化需滿足**第i年之預算限制**。在搜尋過程中會用隨機組合之方式，來找出滿足滿足限制式的維護策略。

貳 執行步驟

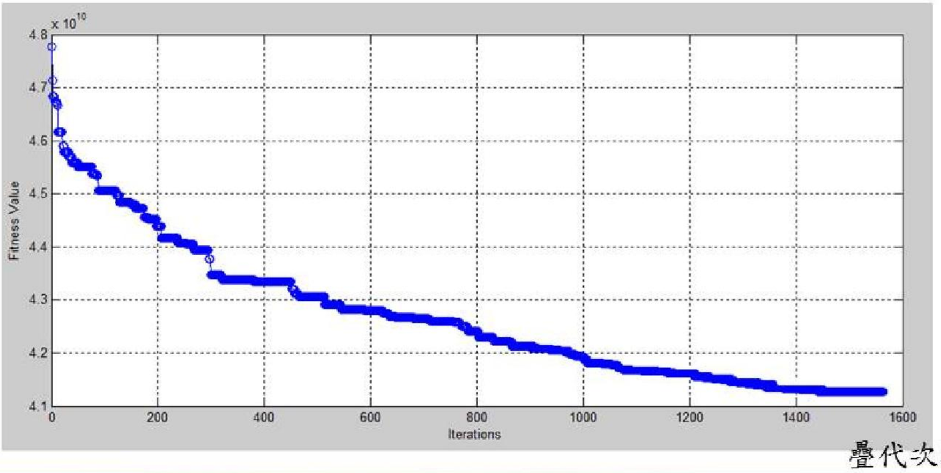
演算過程:

1. 以二區工程處為例，橋梁數量總共有647座，20年維修策略則有647X20=12940個欄位。
2. 12940欄位各有維護或不維護選擇。
3. SOS將於各欄位中嘗試維護或不維護之可能，並加總計算E(COST)。
4. 於演算過程中，紀錄每種維修策略總成本。
5. 當結果收斂時，取最小維修總成本結果為群橋維修最佳策略。

貳 執行步驟

群橋維護成本最佳化結果:

系統將根據前述步驟，依SOS搜尋規則，逐步求解降低目標函數值，直到收斂為止。



貳 執行步驟

四 群橋維護風險管理分析結果

以二區工程處為例，計算群橋生命週期20年之維護策略。

橋梁數量:647座

預算限制:每年3,780,217,329元

ID	E(MC)1	E(MC)2	E(MC)3	E(MC)4	E(MC)5	E(MC)6	E(MC)7	E(MC)8	E(MC)9	E(MC)10	••••	E(MC)17	E(MC)18	E(MC)19	E(MC)20	Ej(Cost)
B01-0010-010A	1,330,494	1,333,695	1,336,903	0	1,820,634	1,346,576	0	1,833,806	1,356,318	1,359,581		0	0	0	0	13,081,134
B01-0010-091A	0	45,290	0	45,508	0	0	149,468	16,268	16,307	16,346		0	0	153,841	0	658,347
B01-0010-092A	0	384,868	0	0	580,959	0	0	0	766,730	0		0	814,175	0	0	3,245,376
B01-0010-097A	67,392	67,554	67,717	67,880	0	0	0	0	0	38,708,215		70,033	70,202	0	0	78,668,247
B01-0010-097B	2,773,040	2,779,711	2,786,399	2,793,102	0	12,441,625	2,813,309	0	0	13,951,516		0	22,722,531	2,895,611	2,902,577	84,353,095
B01-0010-097C	0	4,210,585	0	4,230,869	1,682,554	1,686,602	1,690,660	0	4,282,007	1,702,891		0	4,375,618	0	0	36,606,664
B01-0010-098A	78,972	79,162	0	0	0	451,780	0	217,971	80,505	0		0	464,997	82,463	82,661	2,079,648
B01-0010-098B	538,580	539,876	541,175	0	1,553,036	545,090	0	0	2,451,169	550,354		3,537,523	0	1,606,169	563,739	14,562,002
B01-0010-099A	0	0	4,721,838	956,067	0	0	0	5,160,271	0	0		5,273,082	0	0	0	23,446,091
B01-0010-101A	1,560	0	0	20,935	0	0	0	0	61,056	0		1,621	1,625	1,629	1,633	137,680
B01-0010-103A	0	147,399	0	148,109	43,600	43,705	43,810	43,915	0	0		0	0	196,926	45,200	1,274,569
B01-0010-108A	0	0	0	0	480,298	0	168,187	0	168,998	0		0	172,692	0	173,524	1,804,491
B01-0010-112A	5,444	0	876,308	5,484	5,497	0	884,771	5,537	5,550	0		0	908,469	0	912,846	6,068,041
B01-0010-116A	0	0	543,460	64,720	64,876	65,032	65,188	65,345	65,502	65,660	••••	562,054	0	129,303	67,257	2,018,026
B01-0010-117A	7,043,400	0	0	0	0	0	41,172,742	7,162,873	7,180,106	7,197,379		0	0	46,856,846	0	131,337,731
B01-0010-118A	192,783	0	0	767,281	194,644	195,113	0	0	776,555	0		0	1,109,645	0	440,015	4,892,182
⋮						⋮										⋮
B08-0760-020AL	4,682,693	0	21,501,034	0	21,604,601	4,739,292	0	21,760,904	4,773,579	4,785,063		0	22,290,126	4,889,672	4,901,435	216,091,285
B08-0760-020AR	503,880	0	13,103,137	0	0	0	0	38,759,686	513,660	514,896		0	13,584,031	526,152	527,418	91,768,428
B08-0760-023AL	4,505,823	0	24,729,256	0	24,848,385	4,560,284	0	25,028,156	4,593,277	4,604,327		0	0	0	51,013,180	203,034,861
B08-0760-023AR	0	0	0	24,645,185	486,695	487,866	489,040	490,217	0	12,747,827		21,272,813	0	0	0	82,233,590
B08-0760-026A	0	0	0	3,929,599	0	0	0	0	5,330,212	1,093,371		0	4,064,041	0	0	18,331,570
B08-0760-026B	0	0	2,986,188	1,268,486	0	1,633,850	1,277,663	0	0	3,036,841		0	1,681,647	0	0	17,949,122
維護橋數	383	293	298	330	319	325	329	306	326	331	••••	354	341	373	272	
$\sum_{j=1}^{n} E_{ij}(MC)$	1,224,953,381	1,280,732,502	1,430,359,280	1,691,894,451	2,423,811,374	1,968,168,562	1,875,359,411	1,878,771,972	2,097,804,461	2,056,329,418	••••	2,343,870,356	2,444,292,557	2,362,530,422	2,027,536,613	42,627,586,437

$$\sum_{j=1}^{m} E_{ij}(MC) \le B_i$$

$$MinE_{GT}(Cost) = \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} E_{Bij}(Cost)$$

貳 執行步驟

網頁查詢功能:

1.勾選搜尋條件

貳 執行步驟

網頁查詢功能:

2.以第二區工程處為例，顯示此工程處最佳維修策略組合

貳 執行步驟

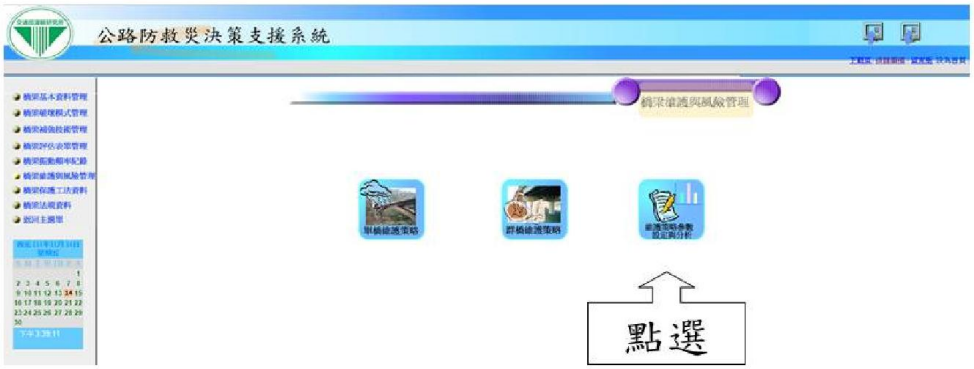
網頁查詢功能:

3.點選橋梁維修成本可查看老化、耐洪、耐震維修風險成本值。

貳 執行步驟

網頁查詢功能:

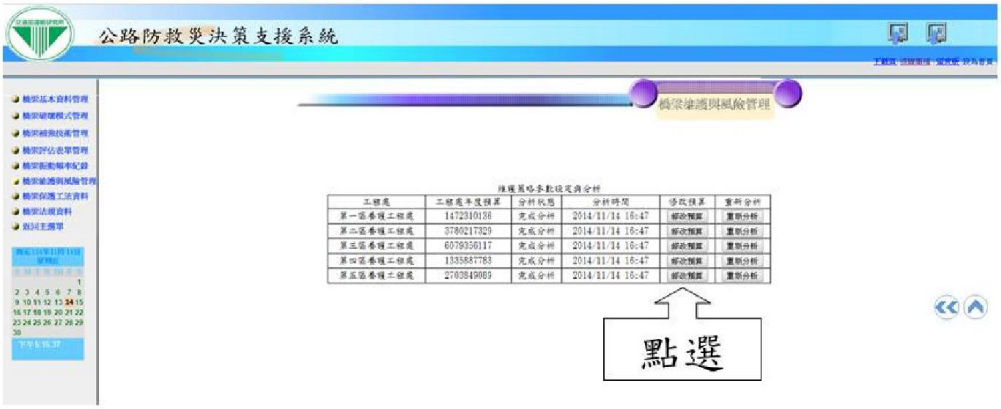
4.點選維護策略參數設定與分析，可執行各工程處預算修改與重新分析維護策略等功能。



貳 執行步驟

網頁查詢功能:

5.管理單位可於系統網頁上修改新一年度工程處預算。



貳 執行步驟

網頁查詢功能:

5.系統以**雲端運算**為基礎，使用者僅需點選重新分析按鈕，將自動於伺服器中啟動SOS群橋維護策略分析模式。分析所需時間約為2-3天，完成後相關資料將直接儲存至資料庫中。

貳 執行步驟

小結:

1. 已完成公路總局五區工程處維護策略(20至30年)評估。
2. 群橋維護成本最佳化模式之運算資料來源包括:

(1)TBMS檢測結果、

(2)TBMS維修紀錄、

(3)工程處年度預算等。

建議橋梁管理單位確實填寫各橋梁檢測與維修紀錄，並依各年度通過預算更改系統中預算值，再重新進行分析運算，以符合橋梁實際維修需求。

參 完成之工作項目及成果

預期執行進度

工作項目	第1-2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月	第8月	第9月	第10月	備註
蒐集橋梁維護管理制度與相關文獻		※								
訪談公路橋梁管理單位										
確認橋梁重要性與非直接成本因子										
確立社會成本概算模式				※						
確立目標方程式，建置群橋維護策略最佳化模式										
群橋維護策略最佳化結果						※				
根據群橋維護策略最佳化成果，提出管理策略										
期末報告撰寫									※	
工作進度估計百分比(累積數)	15	25	35	45	55	65	75	85	100	
預定查核點	第1季:相關文獻收集									
	第2季:訪談公路橋梁管理單位，期中報告									
	第3季:群橋維護策略最佳化模式									
	第4季:群橋橋梁風險管理策略訂定，期末報告									

說明:(1)工作項目請視計畫性質及需要或依研究計畫細要說明訂定，預定進度以粗線表示其起訖日期。
(2)「工作進度百分比」欄係為配合管考作業所需，累積百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定:①工作天數②經費之分配③工作量之比重④與達成目標之具體數字。
(3)每季之「預定查核點」，請在橫形圖上標明※號，並在「預定查核點」欄具體註明關鍵性工作要項。

參 完成之工作項目及成果

目前進度

工作項目及目前完成比例

	工作大項	完成進度比例
1	蒐集橋梁維護管理制度與相關文獻	4/4
2	訪談公路橋梁管理單位	3/3
3	確立橋梁重要性與非直接成本因子	2/2
4	確立社會成本概算模式	2/2
5	確立目標方程式，建置群橋維護策略最佳化模式	3/3
6	根據群橋維護策略最佳化結果，提出管理策略	2/2

參 完成之工作項目及成果

工作細項

1	✓	蒐集橋梁維護管理制度
	✓	蒐集國內外維護優先順序之相關文獻
	✓	蒐集橋梁維護重要性與非直接成本
	✓	蒐集社會成本之相關文獻
2	✓	確立橋梁預算之編列制度
	✓	彙整歷年橋梁維護預算
	✓	確立重要性與非直接成本因子和社會成本之應用
3	✓	確立重要性與非直接成本因子
	✓	篩選重要性與非直接成本因子

參 完成之工作項目及成果

工作細項		
4	✓	確立重要性與非直接成本因子和社會成本概算模式
	✓	計算各橋梁壽齡之社會成本
5	✓	選擇最佳化方法論
	✓	決定目標方程式，以最小生命週期成本進行搜尋
	✓	撰寫最佳化程式
6	✓	整理群橋維護策略輸出結果
	✓	根據群橋維護策略結果探討

肆 結論與建議

結論(1/2)

1.本研究使用**蒙地卡羅**與**人工智慧**推估與預測**各工程處**管轄橋梁**維護經費成本**，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，加總得到**群橋風險期望成本**。

2.本研究建立**用路人成本**概算模式，蒐集橋梁重要性非直接成本因子，概算出**橋梁部分封閉與完全封閉**每日所增加之**用路人直接成本損失**。

肆 結論與建議

結論(2/2)

3. 考量**橋梁20年生命週期**中，不同維護時間點之組合眾多，應用**生物共生演算法**建置**群橋生命週期維護策略最佳化模式**，並依據橋管機關預算限制找出需維護之橋梁名單與成本。本研究成果可建議**橋梁管理機關**依不同橋梁現況有效投入經費進行**維護與補強工作**，找出**群橋最小生命週期風險期望成本**之維護方案。

肆 結論與建議

建議

1.本研究之範圍僅限制於**鋼筋混凝土橋梁**，未來可針對**不同形式之橋梁**，將其納入探討範圍。

2.在此針對各區工程處管理之橋梁進行維護策略最佳化之評選。然而，本研究之探討對象**為公路總局管理之省縣道橋梁**，其它管理單位之橋梁(如**縣市政府管理**之橋梁)將來也可以是一個**研究的發展方向**。

3.對於本研究完成之**群橋生命週期維護策略模式**，建議將來可以利用既有**管理系統的架構**，增設**一專案管理模組**來協助**管理者之決策管控作業**。

臺灣科技大學營建工程系

伍 參考文獻

1. 曾志煌、陳茂南，縣市政府所轄老舊橋梁改善可行性評估，交通部運輸研究所，2008。
2. 蔣偉寧等人，橋梁重要程度等級之建立，交通部公路總局，2004。
3. 台灣地區橋梁管理系統TBMS，http://tbms.iot.gov.tw/bms2/。
4. 黃榮堯等，橋梁生命週期成本評估方法與結構使用年限之建立，2004
5. 葉士青，台灣公路橋梁重要等級評估之研究，中央大學土木工程研究所，2004。
6. R J Woodward，Bridge Management Systems: Extended Review of Existing Systems and Outline framework for a European System，BRIME(Bridge Management in Europe)PL97-2220，2001
7. 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，國立台灣科技大學營建工程系，2005
8. 徐沛雲，造價工期競標法應用於橋梁整建工程適用性之探討，台灣大學土木工程學系，
9. 郭承翔，「導向潛鑽工法應用於都市地區地下管線埋設可行性初步分析之探討」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，2001。
10. 羅紹松，道路工程民眾抗爭造成社會成本損失之初步探討，營建管理季刊，2002
11. 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。
12. 臺北市市區道路管理規則，第二節第十七條，1993。
13. 臺中市道路管理規則，第16條，2010。
14. 蘇振雄，都市地區影響交通之重大工程施工規劃研究，碩士論文，國立交通大學交通運蘇工程研究所，新竹，1990。
15. 桃園縣政府，桃園市編號道路(鄉道)橋梁資料調查及檢測期末報告，2006。
16. Doddy Prayogo, "Symbiotic Organisms Search (SOS): A new metaheuristic optimization algorithm", Elsevier Computer and structure, 2014.
17. 中華民國政府電子採購網，http://web.pcc.gov.tw/pishtml/pisindex.html，2014。

簡報完畢

敬請指教