

橋梁殘餘壽齡與評估保全決策模式之研究(2/4)

Development of A Bridge Lifetime Detection and Analysis Model(2/4)

主管單位：交通部運輸研究所臺灣技術研究中心¹

邱永芳¹

謝明志¹

林雅雯¹

Chiu, Yung-Fang

Hsieh, Ming-Jyh

Lin, Ya-Wen

邱建國²

鄭明淵²

林正軒²

吳育偉²

Chiu, Chien-Kuo

Cheng, Min-Yuan

Lin, Cheng-Hsuan

Wu, Yu-Wei

國立臺灣科技大學營建工程系²

摘要

台灣橋梁飽受天然災害侵害，又海島型氣候使環境中充滿鋼筋腐蝕劣化的因子，橋梁往往須於其壽齡內花上大筆費用進行維護補強工作，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，或是在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。

目前，公路橋梁管理單位可根據檢測作業進而評估橋梁目前現況，但缺乏一套有效評估橋梁未來趨勢與損壞風險之方法，如何確認橋梁未來受災損之可能性與損壞程度，與橋梁所在地發生災害機率以及構件現有性能相關。其損壞亦可分為可視老化(visible)與潛勢危害(invisible)兩種，國內現行檢測作業多以可視老化為主，對於潛勢危害較少著墨。然而，地震、耐洪或是材料劣化(鋼筋腐蝕等)等損壞因素皆是屬於潛勢危害範圍中。因此本研究導入風險發生頻率，以可靠度分析方法計算橋梁風險值，讓管理單位經由定期的檢測工作確實掌握橋梁狀況與各項性能，加強維護管理，達到橋梁延壽目的。

關鍵詞：橋梁檢測、橋梁殘餘壽齡、保全評估、經濟效益

Abstract

Due to the location and environment of Taiwan, the frequency of nature disaster is high and the caused damages to the human life, properties and highways are serious. Therefore, how to determine the bridge lifetime becomes a serious problem. Road managements can assign the budget to different bridges based on the bridge inspection and evaluation.

The bridge management can detect the current status of the bridge, but cannot evaluate the future trends and assess the risk of damage. Therefore, how to confirm the possibility of bridge damage and the future extent of damage is an important topic. The damage can be divided into visual aging (visible) and the potential harm (invisible). Therefore, this study will also consider the visual aging (visible) and the potential harm (invisible) damage factor. Based on calculate the frequency of the risk to reliability analysis and the risk of the bridge, management can understand the possible risks and maintenance or management.

Keywords: Bridge inspection, Bridge Lifetime Detection, security assessment, economic benefits

一、前言

台灣受季風氣候影響及位處地震帶，颱風與地震頻傳，橋梁飽受天然災害侵害。每年颱風、豪雨及近年來河床嚴重下降、氣候變遷等因素，橋梁易受沖刷而導致損壞；根據統計台灣橋梁 95% 以上為混凝土橋梁，且 75% 以上橋齡均在二十年以上，橋梁強度堪慮，故本計畫以鋼筋混凝土橋梁為研究範疇。如何評估現有橋梁之健康度，進而計算不同時間點進行維護之延壽與經濟效益是迫切的課題。

二、文獻回顧

本研究探討國內、外橋梁風險管理、破壞模式、性能指標等技術面，發揮與國際技術接軌功能，並讓橋梁檢測結果與橋梁性能評估結合，讓管理單位能掌握橋梁性能，更有效確實評估橋梁狀況，在有限維護經費下達到最佳經濟效益，節省橋梁管理機關維護補強經費。最後，提供風險來源與因子，以有效方式降低風險衝擊，確保橋梁安全。

2.1 國內橋梁檢測評估方法

目前台灣公路總局主要是採用 D.E.R.&U. 方法，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)、劣化情形或現象對橋梁結構安全性與服務性之影響度 (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)。

2.2 國外橋梁檢測評估方法

交通運輸是一個國家經濟與建設重要關鍵指標，橋梁更是公路運輸互相串連之命脈，以下內容將各別介紹美國、英國、日本、中國大陸如何去檢測維護自己國家的橋梁設施，諸如各國的檢測方式，亦可做為台灣後續對於橋梁檢測方向之參考與調整，相關文獻整理如下表 1。

表 1、國外相關檢測方法整理

國別	檢測規範	檢測手冊	檢測相關研究報告或書籍	檢測資訊系統
美國	National Bridge Inspection Standards,(Federal Highway Administration)	1.橋梁檢測員參考手冊 2.橋梁檢測員培訓手冊	1.Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges(1995 , Federal Highway Administration)。 2.台灣與美國之橋梁檢測系統與制度(陳永銘、許阿明, 2008)	1.National Bridge Inventory Database 2.PONTIS
日本	橋梁定期点檢要領 (案)	1.橋梁の維持管理の体系と橋梁管理カルテ作成要領(案) 2.橋梁における第三者被害予防措置(案)	1.混凝土構造物の健全度診断技術開發報告書(日本構造物診断技術協會, 1994)。	J-BMS
英國	英國公路橋梁檢測優先權標準	-	1.Review of current practice for assessment of structural condition and classification of defects (Woodward,1999)	BridgeMan
中國	公路橋涵養護規範	公路工程質量檢驗評定標準	1.橋梁損傷診斷(劉效堯 等人, 2002)	CBMS

2.3 人工智慧推論模式

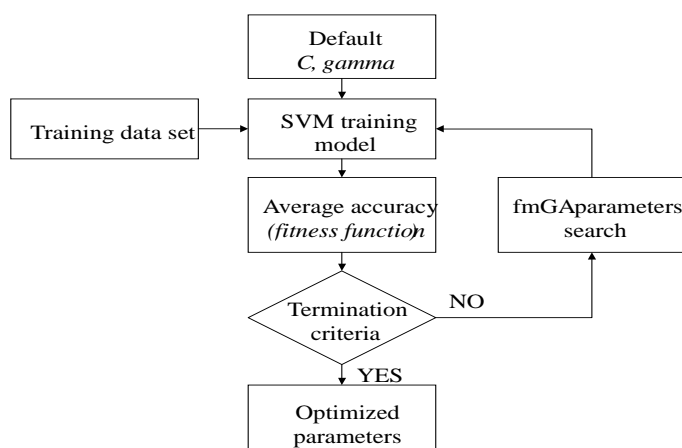


圖1、支持向量機最佳化模式架構

支持向量機最佳化模式架構(圖 1)，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。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。

三、橋梁風險因子辨識

橋梁是由許多不同構件組成，各構件功能不一，受風險損傷狀況也不近相同，難以就橋梁整體進行風險評估。故本階段將對各構件進行分類，並分析各風險因子可能對那些橋梁構件造成影響，以利找出各風險因子可能造成之破壞。

3.1 橋梁因子彙整及分類

目前國內橋梁管理單位評估橋梁自身狀況，依照公路養護手冊將橋梁分為二十種構件包含主要構件及次要構件。主要構件定義為該構件損壞會造成橋梁有結構安全疑慮者；次要構件定義為對用路人使用上之安全性及舒適性。

3.2 建立風險因子及影響圖

本研究將風險類別分為可視老化(visible)與潛勢危害(invisible)，如圖 2 所示。其中可視老化中構件老化為風險因子，其風險指標為平時 D.E.R.&U.檢測可得之綜合評判分數為 CI 值，本研究參考過去之 CI 值統計資料，擬以可靠度指標方式進行風險評估。潛勢危害部分可分為地震及洪水沖刷為主要原因，地震風險指標將使用考慮材料劣化影響之結構耐震容量(Ay 及 Ac)，並輔以蒙地卡羅模擬生命週期地震事件與受損結構性能修正模型以評估含累積損傷影響之風險。洪水沖刷採用現行 SSI 值作為風險指標，亦採用蒙地卡羅模擬洪水事件以進行風險評估。

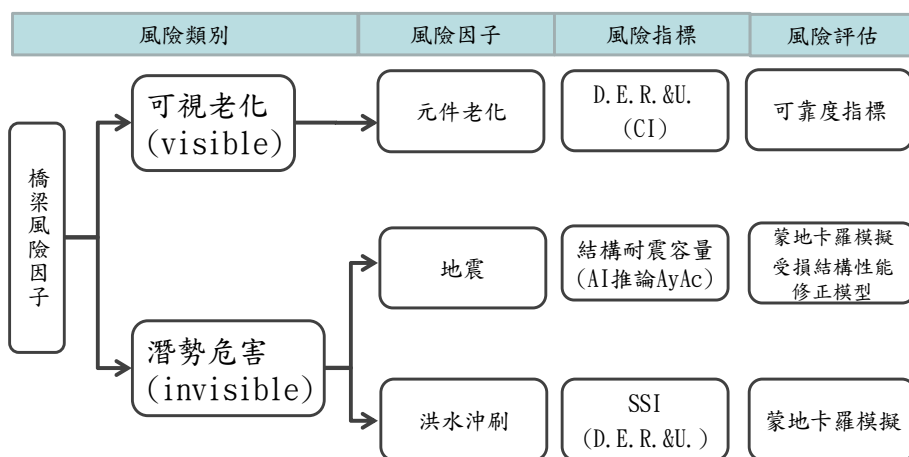


圖2、橋梁風險因子分類

3.4 橋梁各構件破壞模式分析

本團隊彙整及整理文獻中各種災害所造成橋梁損壞現象，將橋梁損壞現象以不同風險區分如表 2 所示，表中將不同風險所造成破壞模式以不同代號表示，並將風險來源對應不同的破壞模式；初步將地震造成的破壞模式分為 9 項、洪水 5 項以及構件老化 22 項。

表2、橋梁破壞模式

損壞代表	代號	損壞代表	代號
變型	D1	混凝土鱗狀剝落	D19
傾斜	D2	混凝土塊狀剝離	D20
傾倒	D3	混凝土碎裂	D21
位移	D4	混凝土蜂窩	D22
沉陷隆起	D5	混凝土白華	D23
剪力破壞	D6	混凝土剝落	D24
落橋	D7	鋼筋外露	D25
基礎乘載力不足	D8	混凝土間隙(孔洞)	D26
韌性不足	D9	基樁外露	D27
沖淤破壞	D10	腐蝕	D28
束縮沖刷破壞	D11	螺栓鬆脫	D29
局部沖刷破壞	D12	偏移	D30
滑動	D13	支承座損壞	D31
裸露	D14	遺失	D32
掏空	D15	老化	D33
裂縫	D16	墊片損壞	D34
混凝土裂縫	D17	河床掏空	D35
混凝土破損	D18	堤防沖刷或侵蝕	D36

四、分析橋梁風險因子之因果關係

本階段針對前一章節所確立之風險：可視老化(構件老化)、潛勢危害(地震及洪水)，分別找出各風險造成橋梁損傷原因及對應破壞模式和部位。此外，並收集相關維修工法所需經費及適用部位，當構件破壞後，即可參考此資料估算所需花費維護成本。

4.1 橋梁各構件破壞模式分析

本團隊彙整各種災害所造成橋梁損壞現象，將橋梁損壞現象分別以潛勢危害(地震、洪水)與可視老化(構件老化)之原因區分可參考表 2，橋梁單元地震損壞型式如表 3 所示。

表3、橋梁單元地震損壞型式

橋梁構件	破壞模式(d)						
	d1	d2	d4	d5	d6	d7	d8
6. 橋台	◎	◎	◎				◎
12. 橋墩保護措施		◎		◎	◎	◎	◎
13. 橋墩基礎	◎	◎		◎	◎	◎	◎
14. 橋墩墩體		◎		◎	◎	◎	◎
18. 主構件(大樑)	◎				◎		
19. 副構件(橫隔樑))	◎						
20. 橋面版、鉸接版							◎

4.2 檢測表單對應破壞項目

本團隊收集現有橋梁管理單位所採用之檢測表單。根據前一階段所確立破壞模式與結構部分之關係，擬定檢測項目、結構部位及破壞模式之對應性，其主要目的為釐清並確認既有表單是否可完全檢測出橋梁不同部位可能發生之破壞模式。橋梁各構件破壞模式分析對應檢測項目如表 4

表4、橋梁各構件破壞模式分析-強度韌性

公路橋梁地震破壞模式對應檢測項目-強度韌性評估															
構件部位	5橋台基礎			12橋墩保護措施					15支承墊	16止震塊/防震拉桿	18主構件(大梁)	20橋面板、縱橫板	9項服務性構件	3河道	橋梁整體
	6橋台			d4	d2	d6	d8	d9			19副構件(橫隔梁)				
破壞模式	d4	d5	d2	d4	d2	d6	d8	d9			d1	d4			
檢測項目	位	沉	傾	位	傾	剪	基	韌	材	材	變	位	材	沖	落
	移	陷	斜	移	斜	力	礎	性	料	料	形	移	料	刷	橋
						破	載	不	老	老			老		梁
						壞	力	足	化	化			化		整
															體
是否為第一類活動斷層近域(與現有規範相比,耐震能力不足)															◎
地盤類別(與現有規範相比,耐震能力不足)															◎
液化可能性(與現有規範相比,耐震能力不足(84年後規範要考慮液化問題))															◎
梁端橋墩或橋台之斜角(整體耐震能力下降(強度,韌性))	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎			◎				◎
震動單位中橋柱、墩最高與最低之比(低估地震力)				◎	◎	◎	◎	◎							
橋柱或壁式橋墩高寬比R						◎									
橋柱或壁式橋墩靜不定度								◎							
基礎裸露程度	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎							◎
柱底銜接與否(壁式橋墩)							◎	◎							
豎紋區箍筋細部							◎	◎							
主筋斷點與箍筋細部(壁式橋墩)							◎	◎							
橋柱與基礎劣化程度	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎							
壁式橋墩底部鋼筋銜接與否							◎	◎							
縱、橫向鋼筋比與細部(壁式橋墩)							◎	◎							
主筋斷點與箍筋細部(一般橋柱)							◎	◎							
其他異常現象															◎
支承狀況															◎

橋梁管理單位需在不同時機針對不同災害填寫表單,將造成填寫人員極大負擔,亦需要大量人力更新資料。因此本研究將彙整橋梁檢測表單之檢測項目,找出重複性之欄位或可轉換之項目(表5),並定義檢測項目之代號(表6),找出填表項目對應更新項目(表7)。未來填寫表單時將可依此規則更新其餘表單內容(表8),確保各表單資料項目能同步更新。

表5、表單間重複之評估項目

TELES (T)	公路橋梁耐震評估表-落橋(E _d)	公路橋梁耐震評估表-強度韌性(E _f)	公路橋梁耐洪評估表(S)	DERU (D)
—	—	—	6.沖刷相關構件之DERU評分	3.河道
—	—	—	6.沖刷相關構件之DERU評分	6.橋台
—	—	—	6.沖刷相關構件之DERU評分	12.橋墩保護設施
基礎裸露_公尺	G110基礎裸露程度	G208基礎裸露程度 G212橋柱與基礎劣化程度	6.沖刷相關構件之DERU評分 16.基礎裸露程度	5.橋台基礎
基礎裸露_公尺	G110基礎裸露程度	G208基礎裸露程度 G212橋柱與基礎劣化程度	6.沖刷相關構件之DERU評分 16.基礎裸露程度	13.橋墩基礎
—	—	G212橋柱與基礎劣化程度	6.沖刷相關構件之DERU評分	14.橋墩墩體/帽梁
—	G111支承狀況	—	—	15.支承/支承墊


表6、重複評估項目的代號定義

代號	對應表單	檢測項目
T1	TELES	基礎裸露__公尺
D3	DER&U	3.河道
D5	DER&U	5.橋台基礎
D6	DER&U	6.橋台
D12	DER&U	12.橋墩保護措施
D13	DER&U	13.橋墩基礎
D14	DER&U	14.橋墩墩體/帽梁
D15	DER&U	15.支承/支承墊
E _r G110	公路橋梁耐震評估檢查表(落橋評估)	G110基礎裸露深度
E _d G208	公路橋梁耐震評估檢查表(強度韌性評估)	G208基礎裸露深度
E _d G212	公路橋梁耐震評估檢查表(強度韌性評估)	G212橋柱與基礎劣化程度
E _r G111	公路橋梁耐震評估檢查表(落橋評估)	G111支承狀況
S6	跨河公路橋梁沖刷潛勢評估表	6.沖刷相關構件之DER&U評分 包含(3.河道、5.橋台基礎、6.橋台、12.橋墩保護措施、13.橋墩基礎、14.橋墩墩體/帽梁)
S16	跨河公路橋梁沖刷潛勢評估表	16.基礎裸露深度

表7、填表項目對應更新項目

		更新項目													
		T1	D3	D5	D6	D12	D13	D14	D15	E _r G 110	E _d G 208	E _d G 212	E _r G 111	S6	S16
填 表 項 目	T1	◎		◎			◎			◎	◎	◎		◎	◎
	D3		◎											◎	
	D5			◎								◎		◎	
	D6				◎							◎		◎	
	D12					◎								◎	
	D13						◎						◎	◎	
	D14							◎					◎	◎	
	D15								◎					◎	
	E _r G110	◎		◎	◎		◎	◎		◎	◎			◎	◎
	E _d G208	◎		◎	◎		◎	◎		◎	◎			◎	◎
	E _d G212			◎	◎		◎	◎				◎		◎	
	E _r G111								◎					◎	
	S6		◎	◎	◎	◎	◎	◎				◎		◎	
	S16	◎		◎						◎	◎				◎

表8、填表項目對應更新項目-以填表項目TELES為例

代號	說明	轉換式								
D5	若已知原基礎長度，則可算出 D 值(劣化程度)。 若未知實際初始基礎深度時，則以較保守之方式估計基礎長度 為 10 公尺。	<p style="text-align: center;">TELES</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 10px;"> 基樁裸露：___公尺 </div>  <p style="text-align: center;">DERU</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">等級</th> <th>定義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td>樁基尚未露出</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td>樁基露出未超過樁長1/4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td>樁基露出超過樁長1/4</td> </tr> </tbody> </table>	等級	定義	2	樁基尚未露出	3	樁基露出未超過樁長1/4	4	樁基露出超過樁長1/4
等級	定義									
2	樁基尚未露出									
3	樁基露出未超過樁長1/4									
4	樁基露出超過樁長1/4									
D13	若已知原基礎長度，則可算出 D 值(劣化程度)。									
E _d G212	若以知原基礎長度，則可算出 D 值(劣化程度)。									
S6	若以知原基礎長度，則可算出 D 值(劣化程度)。									
S16	因檢測“T1”中所填的基礎裸露深度，與“S16”檢測項目相同故可以不須轉換即可更新。									
E _r G110	因檢測“T1”中所填的基礎裸露深度，與“E _r G110”檢測項目相同故可以不須轉換即可更新。	此項目僅需將填表項目更新至表中在計算即可								

T1(基礎裸露)轉換 D5(橋台基礎)時，若已知原基礎長度則可以依照中國土木工程學會建議，在 D.E.R.&U.中基礎沖刷的劣化程度算出 D 值(劣化程度)，若未知原基礎長度時，則假設原基礎長度為 10 公尺。(經濟部水利署，2010)

4.3 估計衝擊影響程度

本步驟根據上步驟找出橋梁破壞模式後，即可找尋對應之維修工法並估算破壞所需維護經費，視為風險對公路管理單位所造成之衝擊影響。今年度本團隊將橋梁破壞後所花費維修成本達原設設水準視為衝擊影響程度。

五、橋梁風險分析

本階段將根據上階段所建議橋梁性能指標進行量化分析，評估橋梁危害發生之機率，結合風險衝擊影響程度計算流程如圖 3 所示。

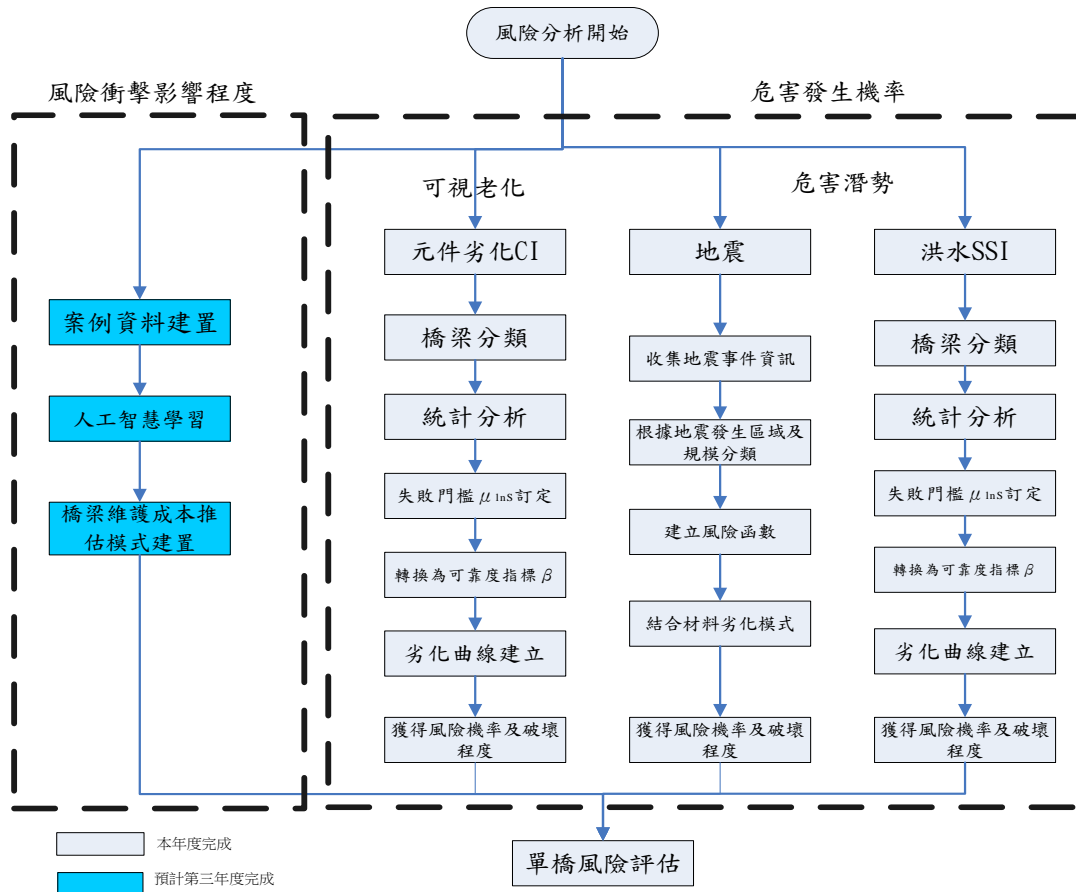


圖3、橋梁風險分析流程圖

5.2 橋梁可靠度分析-洪水

5.2.1 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，故本研究將依橋梁所屬流域分群進行研究評估。參考水利署台灣主要河川之流域定義，分為二十四個流域。

5.2.2 統計分析

根據橋梁管理系統 TBMS 歷年 SSI 調查記錄與水利署水位站監測記錄，找出各年度 SSI 下降值與當年對應之洪水重現期，統計分析紀錄結果如表 9 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9、台灣主要河系洪水重現期對應SSI指標下降表(節錄)

洪水重現期	1 年	2 年	5 年	20 年	50 年	200 年
台灣主要河系						
淡水河	-	-	2	-	-	-
	⋮					
鳳山溪	-	1	7	-	-	-

5.2.3 洪水事件產生器

本研究根據不同的洪水重現期，在橋梁未來生命週期中產生不同的洪水事件，如圖 4、圖 5 所示。分別為發生 50 年及 100 年洪水重現期時對應 SSI 值下降曲線示意圖，如發生的洪水較小下降趨勢亦較為和緩。

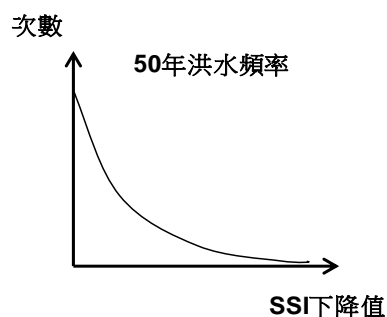


圖 4、發生 50 年洪水時
對應 SSI 指標下降

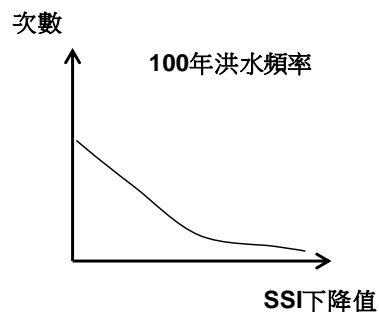


圖 5、發生 100 年洪水時
對應 SSI 指標下降

5.2.4 失敗門檻訂定

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

5.2.5 蒙地卡羅模擬

此階段使用蒙地卡羅模擬橋梁未來 50 年洪水可能發生事件，流程如圖 6 所示，將模擬計算 10000 次，依 SSI 下降趨勢表，計算可能之 SSI 值，找出橋梁在洪水沖刷下破壞的機率。成果如表 10 所示。

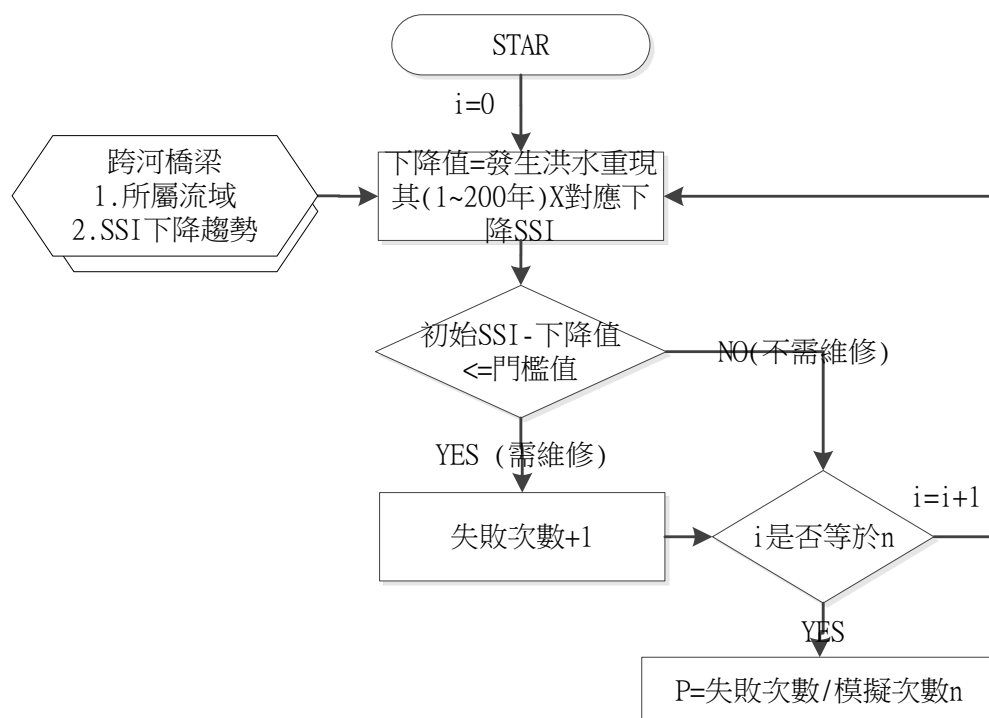


圖 6、洪水造成維修機率蒙地卡羅計算流程图

表10、蒙地卡羅模擬洪水造成維修機率結果(節錄)

TELES_ID	工程處	工務段	所在縣市	所在鄉鎮	洪水造成維修機率
A01-0020-098A	一區	景美	台北縣	貢寮	67.02
:					
A01-0020-075A	一區	景美	台北縣	瑞芳	0.0

5.3 橋梁可靠度分析-構件老化

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

建立步驟如下：

1. 橋梁分類：將具相同老化狀況橋梁視為同類型橋梁(如：距海遠近、交通流量、結構型式等)，假設相同橋齡老化狀況類似。
2. 統計分析：將同類型同橋齡橋梁 CI(樣本資料數需大於 30 筆)進行統計，將視為對數常態分佈，求出每一年度之平均值與標準差。
3. 失敗門檻訂定：透過文獻、訪談或歷史資料找尋失敗門檻。
4. 建立下降曲線：將每一年度橋齡轉換為可靠度指標後，即可透過統計迴歸建立下降曲線，如圖 7 所示，即可推估未來橋梁 CI 值及維修發生機率。

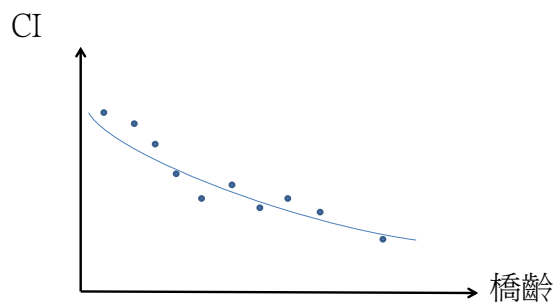


圖7、橋梁CI下降曲線

5.3.1 橋梁分類(依橋型、交通量、與海岸距離)

本研究將影響可視老化之因素(橋梁型式、交通量多寡、橋梁與海岸距離)作為分群之依據，收集整理台灣橋梁管理系統中歷年調查結果。此報告以梁式橋為例，進行步驟說明，其橋梁資料分組數量如下表 11 所示。

表11、梁式橋調查資料筆數

距海(m) 車流量(次/日)	<300	300~1000	1000~3000	>3000
	<6000	75	151	798
6000~12000	5	15	3	39
>12000	0	0	0	10

5.3.2 統計分析(CI 與橋齡)

根據檢測歷史資料，依不同分組橋梁(橋梁型式、交通量多寡、橋梁與海岸距離)之檢測結果，將每座橋的橋齡(X 軸)與 CI(Y 軸)資料匯出成圖，如圖 8 所示。根據迴歸分析找出橋梁橋齡與 CI 之關係式，進一步求得各橋 CI 之下降斜率。並以同組橋梁進行統計分析，找出該組橋梁的平均值與變異數，如下表 12 所示。

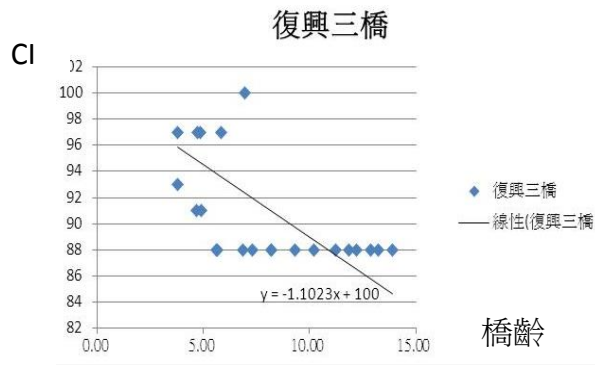


圖8、以梁式橋-復興三橋為例

表12、相關參數表(以梁式橋為例)

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

5.3.3 失敗門檻訂定

本研究根據各類型橋梁的歷史維修紀錄，以各類型橋梁最後一次維修時 CI 為建議維修門檻，經過統計梁式橋梁維修前的 CI 平均值為 75 分。未來相關管理單位可根據需求調整此門檻值。

5.3.4 轉換為可靠度指標

綜合上述統計結果做為蒙地卡羅模擬之輸入，流程如圖 9，以模擬 10000 次方式，找出橋梁於未來各時間點 CI 小於門檻值之機率，即為橋梁因可視老化所造成之維修機率。節錄計算結果如表 13 所示。

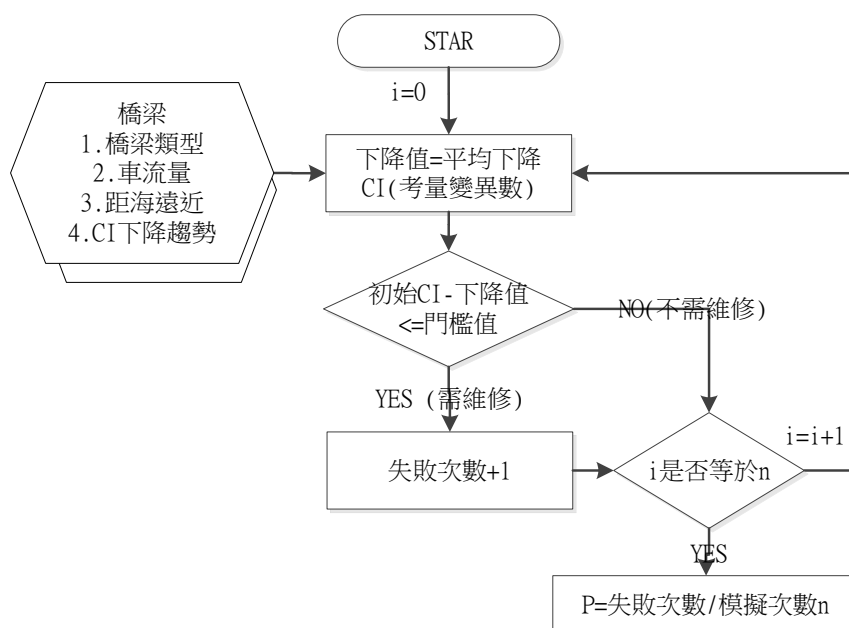


圖9、可視老化造成維修機率蒙地卡羅計算流程圖

表13、可視老化造成維修機率蒙地卡羅計算結果(節錄)

TELES_ID	工程處	工務段	所在縣市	所在鄉鎮	洪水造成維修機率
A01-0020-098A	一區	景美	台北縣	貢寮	0
A01-005A-006A	一區	景美	台北縣	汐止	7.97
A01-0050-017B	一區	景美	台北縣	汐止	38.83
A01-0050-016A	一區	景美	台北縣	汐止	14.51
A01-0020-026A	一區	景美	台北縣	石門	0
A01-0050-017A	一區	景美	台北縣	汐止	36.69
:					
A01-0020-052A	一區	景美	台北縣	萬里	0
A01-0020-075A	一區	景美	台北縣	瑞芳	0
A01-0020-076A	一區	景美	台北縣	瑞芳	0

5.4 橋梁綜合能力評量表

本研究綜合上述地震、洪水、老化等風險因素，分別建置不同風險評估模式，模式中需要不同橋梁相關參數與數據，如地震分析需要地盤種類、初始狀態下之降伏位移、所在鄉鎮、鄰近斷層、降伏及崩塌地表加速度值等資料，此資料分散於不同系統與單位(TBMS、TELES等)，本研究整理相關需求彙整建置橋梁綜合能力評量表，未來公路管理單位可依據風險調查項目分別進行巡檢與數據更新，即可重新計算橋梁之綜合能力。本研究初擬橋梁綜合能力評量表如表 14。

表14、橋梁綜合能力評量表

類別	需填寫欄位	資料來源				
		TBMS		TELES	結構分析或人工智慧推論	橋梁通阻檢測計畫成果
		基本屬性	DERU			
基本資料	橋梁名稱	V				
	工程處	V				
	工務段	V				
	重建成本			V		
地震	地盤種類			V		
	初始狀態下之降伏位移				V	
	所在鄉鎮	V				
	是否鄰近第一類活動斷層及其名稱			V		
	降伏及崩塌地表加速度值(考慮材料劣化影響)			V		V
洪水	是否為跨河橋	V				
	所屬流域	V				
	SSI		V			
可視老化	橋梁類型	V				
	車流量	V				
	距海遠近					V
	CI		V			
綜合能力指標 E[COST]						

E[COST]計算公式如式 6.27 所示。

$$E[COST] = P_D \times C_D + P_E \times C_E + P_S \times C_S \quad (6.27)$$

其中

P_D 、 P_E 、 P_S 分別代表可視老化、地震、洪水沖刷在一定時間內破壞之機率

C_D 、 C_E 、 C_S 分別代表可視老化、地震、洪水沖刷在破壞後所需維修成本

六、結論與建議

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

1. 目視檢測之過程中，人為因素影響結果甚大，為避免此問題，建議未來建立完整之檢測員訓練與認證機制，培養專業人才進行調查，避免檢測結果之偏差。
2. 沖刷檢測目前尚未有標準表單，且 D.E.R.&U. 檢測項目中，對於沖刷之

調查因子過少，無法完整描述河川之特性與沖刷潛勢，未來建議採用「訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範之研究」中所確立之表單進行相關調查。

3. 建議管理單位可經由定期的檢測工作確實掌握橋梁狀況與各項性能可能風險，並了解影響衝擊，以利橋梁管理單位依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作。

根據本研究結論，研究成果與效益分別可達到：

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

參考文獻

1. 交通部運研所(2011)，橋梁殘餘壽齡與評估保全決策模式之研究(1/4)。
2. 國震中心(2011)，公路橋梁地震早期損失評估資料庫建置與模組開發之研究，港灣中心。
3. 張毓文(2002)，「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。
4. 張毓文(2002)，「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。
5. 詹皓凱(2008)，「加速度地動潛勢預估」，碩士論文，國立中央大學。
6. 許京穎(2008)，「臺灣潛勢地震之發生機率評估」，碩士論文，國立中央大學。
7. 鄭明淵等(2011)，「橋梁通阻檢測分析模式建立研究」，交通部運輸研究所。
8. 溫國樑、簡文郁、張毓文(2005)，「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。

9. 張國鎮、張荻薇、黃震興、宋裕祺、廖文義、柴駿甫、鄧崇任、劉光晏、洪曉慧、陳長佑(2007)，「公路橋梁耐震設計規範修訂草案之研究」，國家地震工程研究中心。
10. 交通部公路總局(2009)，「公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究」。
11. Chien-Kuo Chiu, Kai-Ning Chi (2012)，「Analysis of lifetime losses of low-rise reinforced concrete buildings attacked by corrosion and earthquakes using a novel method」, Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance, (Available online and in press).
12. R. Kumar, P. Gardoni, M. Sanchez-Silva(2009)，Effect of cumulative seismic damage and corrosion on the life-cycle cost of reinforced concrete bridges, Earthquake Engineering and structural dynamics 38, P887-905.