

113-052-2337  
MOTC-IOT-112-EBB005

# 橋梁整橋風險評估模式之研究



**交通部運輸研究所**

中華民國 113 年 7 月

113-052-2337  
MOTC-IOT-112-EBB005

# 橋梁整橋風險評估模式之研究

著者：廖先格、姚乃嘉、蔡欣局、陳致霖、王鶴翔、黎光傑  
莊友涵、賴威伸、許修豪、邱雅莉

交通部運輸研究所

中華民國 113 年 7 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

橋梁整橋風險評估模式之研究/廖先格, 姚乃嘉, 蔡欣局, 陳致霖, 王鶴翔, 黎光傑, 莊友涵, 賴威伸, 許修豪, 邱雅莉著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 113. 07

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-609-9 (平裝)

1.CST: 橋梁工程 2.CST: 風險評估

441.8

113009515

橋梁整橋風險評估模式之研究

著者：廖先格、姚乃嘉、蔡欣局、陳致霖、王鶴翔、黎光傑、莊友涵、賴威伸、許修豪、邱雅莉

出版機關：交通部運輸研究所

地址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網址：[www.iot.gov.tw](http://www.iot.gov.tw) (中文版>數位典藏>本所出版品)

電話：(02)2349-6789

出版年月：中華民國 113 年 7 月

印刷者：全凱數位資訊有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 56 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：330 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸科技及資訊組 • 電話：(02)2349-6789

國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號 • 電話：(02)2518-0207

五南文化廣場：400002 臺中市區中山路 6 號 • 電話：(04)2226-0330

GPN：1011300848 ISBN：978-986-531-609-9 (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分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

## 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：橋梁整橋風險評估模式之研究			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-609-9 (平裝)	政府出版品統一編號 1011300848	運輸研究所出版品編號 113-052-2337	計畫編號 112-EBB005
本所主辦單位：運輸工程及 海空運組 主管：賴威伸 計畫主持人：賴威伸 研究人員：許修豪、邱雅莉 聯絡電話：(02)2349-6828 傳真號碼：(02)2545-0427	合作研究單位：中華民國營建管理協會 計畫主持人：廖先格 研究人員：姚乃嘉、蔡欣局、陳致霖、王鶴翔 、黎光傑、莊友涵 地址：臺北市中正區重慶南路1段99號 10F1010室 聯絡電話：(02)2388-0186	研究期間 自 112 年 03 月 至 112 年 12 月	
關鍵詞：橋梁檢測、風險評估、橋梁狀況指標			
<p>摘要：</p> <p>我國「公路橋梁檢測及補強規範」規定，橋梁原則上每兩年須進行一次定期檢測，針對全橋各構件之劣化程度、劣化範圍、重要性以及維修之急迫性，分別給予 1~4 之評分數值，然此係針對橋梁構件狀況之評估，無法代表橋梁整體之狀況。本研究在「公路橋梁檢測及補強規範」之架構下，利用定期檢測成果及「車行橋梁管理資訊系統」中之橋梁之基本資料，針對車行之混凝土一般性橋梁（梁式橋及板橋）進行研究，提出一「整橋風險評估」模式。</p> <p>「整橋風險評估」結果分為 I~IV 共 4 個等級，I 為良好、II 為尚可、III 屬較差、IV 則為嚴重。針對等級 I 之橋梁，在無明顯會造成橋況劣化之因素時，建議可放寬檢測頻率，對等級 II 之橋梁可考慮進行預防性維修，等級 III 之橋梁需進行維修或增加檢測頻率，等級 IV 之橋梁建議依橋況進行緊急處置或結構安全評估，評估後採取適當之維修、補強或改建。「整橋風險評估」結果是由「結構安全評等」及「耐洪安全評等」中取較差者為代表。「結構安全評等」分為 I~IV 共 4 個等級，由本研究提出之結構性指標 (Structural Condition Index, SCI) 及結構安全風險指標 (Risk Index for Structural Safety, RI<sub>S</sub>) 組成之風險矩陣決定；「耐洪安全評等」同樣分為 I~IV 共 4 個等級，由本研究提出之耐洪性指標 (Flood Resistant Capacity Index, FCI) 及耐洪安全風險指標 (Risk Index for Flood Resistant, RI<sub>F</sub>) 組成之風險矩陣決定。本計畫針對 10 座案例評估橋梁進行現地檢測，以驗證評估模式之正確性。所建立的橋梁整橋風險評估模式，可快速評估橋梁整體狀況，使橋管機關（如高速公路局、公路局及各縣市政府）在有限之維護經費資源得發揮其最大功能，使亟需維修之橋梁能及時獲得適當維修。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
113 年 7 月	280	330	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。
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: Research on a Whole Bridge Risk Assessment Model for Concrete Bridges			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-531-609-9(pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011300848	IOT SERIAL NUMBER 113-052-2337	PROJECT NUMBER 112-EBB005
DIVISION: Transportation Engineering Maritime and Air Transport Division DIVISION DIRECTOR: Lai, Wei-Shen PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lai, Wei-Shen PROJECT STAFF: Hsu, Hsiu-Hao ; Chiu, Ya-Li PHONE: 886-2-2349-6828 FAX: 886-2-2545-0427			PROJECT PERIOD FROM March 2023 TO December 2023
RESEARCH AGENCY: Construction Management Association of the Republic of China PRINCIPAL INVESTIGATOR: Liao, Hsien-Ke PROJECT STAFF: Yau, Nie-Jia ; Tsai, Hsin-Chu ; Chen, Chin-Lin ; Wang, Hsin ; Li, Kuang-Chieh ; Chuang, Yu-Han ADDRESS: Rm. 1010, 10F., No. 99, Sec. 1, Chongqing S. Rd., Zhongzheng Dist., Taipei City 100004, Taiwan (R.O.C.) PHONE: 886-2-2388-0186			
KEY WORDS: Bridge Inspection, Risk Assessment, Bridge Condition Index			
ABSTRACT: According to the “Specifications for Highway Bridge Inspection and Reinforcement” in our country, regular inspections of bridges are mandated every two years. These inspections assess the degree and extent of deterioration, the significance of the deterioration, and the urgency of maintenance for each bridge component, assigning numerical ratings from 1 to 4. However, this evaluation is limited to the assessment of individual bridge components and does not provide a comprehensive representation of the overall condition of the entire bridge. In this study, conducted within the framework of the “Specifications for Highway Bridge Inspection and Reinforcement,” the results of regular inspections and bridge inventory data from the “Vehicle Bridge Management Information System” are integrated to propose a “Whole Bridge Risk Assessment” model for general concrete bridges (girder bridges and slab bridges) designed for vehicular traffic. The results of the “Whole Bridge Risk Assessment” are classified into four levels: I (Good), II (Fair), III (Poor), and IV (Severe). A reduction in inspection frequency is recommended for level I bridges without apparent factors causing deterioration. Level II bridges may consider preventive maintenance, level III bridges require maintenance or increased inspection frequency, and level IV bridges are advised for urgent actions or structural safety assessments, followed by appropriate maintenance, reinforcement, or reconstruction. The “Whole Bridge Risk Assessment” level is determined by the poorer result between the “Structural Safety Rating” and the “Flood Resistance Safety Rating” of the bridge. The “Structural Safety Rating” comprises four levels (I to IV) established by a risk matrix using the Structural Condition Index (SCI) and Risk Index for Structural Safety (RI <sub>S</sub> ) proposed in this study. Similarly, the “Flood Resistance Safety Rating” consists of four levels (I to IV) determined by a risk matrix using the Flood Resistant Capacity Index (FCI) and Risk Index for Flood Resistant (RI <sub>F</sub> ) proposed in this study. The study conducted on-site inspections of 10 bridges to verify the accuracy of the assessment. The established “Whole Bridge Risk Assessment model” can quickly assess the overall condition of the bridge, allowing bridge management agencies (such as the Freeway Bureau, Highway Bureau, and county and municipal governments) to maximize their functions with limited maintenance funds so that repairs in urgent need can be maximized. Bridges can receive appropriate repairs in a timely manner.			
DATE OF PUBLICATION		NUMBER OF PAGES	PRICE
July 2024		280	330
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 目錄

目錄.....	III
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VIII
第一章 緒論.....	1
1.1 計畫背景.....	1
1.2 計畫內容與工作項目.....	2
1.3 計畫範圍與研究限制.....	4
1.4 計畫流程.....	4
第二章 文獻回顧.....	7
2.1 美國橋梁檢測及橋況評估.....	7
2.1.1 橋梁管理發展歷程.....	7
2.1.2 橋梁檢測與評估手冊概述.....	9
2.1.3 橋梁狀況編碼.....	10
2.1.4 橋梁構件狀況分級（各州執行檢測面向）.....	11
2.1.5 橋梁部位狀況評定（聯邦清冊彙整面向）.....	19
2.1.6 橋梁狀況指標.....	27
2.2 日本橋梁檢測及橋況評估.....	30
2.2.1 日本橋梁檢測方式.....	30
2.2.2 日本橋況評估指標.....	38
2.3 南非橋梁檢測及橋況評估指標.....	40
2.3.1 南非橋梁檢測方式.....	40
2.3.2 南非橋況評估指標.....	43
2.4 中國大陸橋梁檢測及橋況評估指標.....	45
2.4.1 中國大陸橋梁檢測方式.....	45

2.4.2	中國大陸橋況評估指標.....	48
2.5	芬蘭橋況評估指標.....	53
2.6	德國橋況評估指標.....	55
2.7	臺灣橋梁檢測及橋況評估指標.....	56
2.7.1	臺灣橋梁檢測方式.....	56
2.7.2	臺灣橋況評估指標.....	57
2.7.3	臺灣橋況評估指標之問題 .....	59
2.8	其他相關文獻.....	60
2.8.1	公路橋梁耐震評估與補強設計規範 .....	60
2.8.2	跨河橋梁安全評估之研究 .....	65
2.8.3	臺灣大氣腐蝕劣化因子之研究 .....	65
2.8.4	整橋構件權重分配之研究 .....	67
2.9	小結.....	70
第三章	整橋風險評估模式建立.....	73
3.1	專家訪談.....	73
3.2	整橋風險評估模式定位.....	75
3.3	整橋風險評估模式.....	77
3.3.1	整橋風險評估分等.....	77
3.3.2	構件狀態指標.....	80
3.3.3	構件重要指數.....	81
3.3.4	結構安全評等.....	85
3.3.5	耐洪安全評等.....	96
3.4	小結.....	103
第四章	案例評估橋梁檢測及評估結果.....	105
4.1	案例評估橋梁檢測.....	105
4.1.1	案例評估橋梁篩選.....	105

4.1.2	案例評估橋梁目視檢測成果 .....	106
4.1.3	檢測人員判定各橋整橋風險評估結果 .....	116
4.1.4	美國評等方法判定橋梁狀況結果 .....	119
4.2	整橋風險評估結果.....	123
4.3	小結.....	144
第五章	專家座談會及學術會議.....	147
5.1	專家座談會.....	147
5.2	學術會議.....	150
第六章	結論與建議.....	151
6.1	結論.....	151
6.2	建議.....	153
	參考文獻.....	155
附錄一	專家訪談問卷	
附錄二	專家訪談意見彙整	
附錄三	以美國方法評等之 3 座案例橋檢測紀錄	
附錄四	崙天大橋及高寮大橋整橋風險評估結果	
附錄五	專家座談會會議紀錄	
附錄六	期中報告審查意見處理情形表	
附錄七	期末報告審查意見處理情形表	
附錄八	期末簡報	

# 圖目錄

圖 1.1 我國各類橋梁數量分布圓餅圖.....	1
圖 1.2 計畫流程圖.....	5
圖 2.1 銀橋斷橋前後.....	8
圖 2.2 美國橋梁檢測相關手冊.....	9
圖 2.3 預力混凝土橋側視圖與剖面圖.....	14
圖 2.4 缺陷編號 2 的狀況.....	15
圖 2.5 缺陷編號 3 的狀況.....	15
圖 2.6 缺陷編號 4 的狀況.....	16
圖 2.7 缺陷編號 5 的狀況.....	16
圖 2.8 缺陷編號 6 的狀況.....	16
圖 2.9 缺陷編號 7 的狀況.....	17
圖 2.10 橋面板部位缺陷狀況.....	21
圖 2.11 下部結構部位缺陷狀況.....	22
圖 2.12 上部結構部位缺陷狀況.....	23
圖 2.13 桁架立柱扭曲.....	23
圖 2.14 鉚釘遺失.....	23
圖 2.15 橋址處河道狀況.....	25
圖 2.16 下游測河道狀況.....	25
圖 2.17 外露橋墩基腳.....	26
圖 2.18 日本國土交通省定期檢驗流程.....	31
圖 2.19 對策區分判定的基本流程.....	34
圖 2.20 檢驗與對策的流程圖.....	37
圖 2.21 日本橋況評估定期檢測結果紀錄.....	39
圖 2.22 南非定期檢測結果紀錄表.....	42

圖 2.23 橋梁技術評定指標流程.....	49
圖 3.1 整橋風險評估流程.....	79
圖 3.2 指數 a 與 SCI 對照圖.....	89
圖 3.3 碳鋼年腐蝕速率 ISO 分類圖 (2022 年) .....	93
圖 3.4 指數 a 與 FCI 對照圖.....	100
圖 4.1 橋梁代號 07 預力混凝土主梁鋼筋外露銹蝕情形 .....	120
圖 5.1 專家座談會照片.....	147
圖 5.2 學術會議照片 .....	150

# 表目錄

表 2-1 橋梁構件狀況型態等級標準：鋼筋混凝土劣化缺陷 .....	12
表 2-2 橋梁構件狀況型態等級標準：鋼材劣化缺陷 .....	13
表 2-3 橋梁元件狀況型態（CS）一覽表 .....	18
表 2-4 美國聯邦公路總署的橋梁部位評分標準 .....	19
表 2-5 橋梁部位劣化缺陷嚴重程度的評分指引 .....	20
表 2-6 混凝土劣化缺陷嚴重程度的評分指引 .....	20
表 2-7 鋼材劣化缺陷嚴重程度的評分指引 .....	21
表 2-8 水道評分標準 .....	24
表 2-9 水道缺陷嚴重程度的評分指引 .....	24
表 2-10 沖刷評分標準 .....	25
表 2-11 日本國土交通省檢驗構件項目 .....	32
表 2-12 日本國土交通省損傷狀況之評估項目 .....	33
表 2-13 日本高速道路綜合技術研究所檢驗種類概要 .....	36
表 2-14 日本國土交通省健全性診斷的判定區分及處理措施 .....	38
表 2-15 南非的橋梁檢測種類 .....	40
表 2-16 DER&U 目視檢測法 .....	41
表 2-17 DER&U 各指標評等標準 .....	41
表 2-18 橋梁狀況指標（ASCI）構件加權指標 .....	44
表 2-19 整橋評估指標狀態定義及判定方式 .....	44
表 2-20 中國大陸橋梁結構與全橋技術狀況評定等級 .....	46
表 2-21 中國大陸橋梁主要部件技術狀況評定等級 .....	46
表 2-22 中國大陸橋梁次要部件技術狀況評定等級 .....	46
表 2-23 等級 5 類橋梁單項控制指標表 .....	47
表 2-24 橋梁技術狀況分類界限表 .....	47

表 2-25 簡支梁（板）橋、剛架橋裂縫 .....	48
表 2-26 瀝青混凝土橋面鋪裝破損 .....	48
表 2-27 各結構類型橋梁主要部件表 .....	49
表 2-28 構件各檢測指標扣分值表 .....	50
表 2-29 變數 $t$ 值表 .....	52
表 2-30 梁式橋各部件權重值表 .....	52
表 2-31 橋梁結構組成權重值表 .....	53
表 2-32 橋梁各結構部位權重 .....	53
表 2-33 結構部位狀況 .....	54
表 2-34 維修急迫性 .....	54
表 2-35 損壞嚴重性 .....	54
表 2-36 損壞範圍修正係數 .....	55
表 2-37 損壞次數修正係數（下部結構群組） .....	55
表 2-38 損壞範圍修正係數（其他群組） .....	55
表 2-39 損壞群組數量修正係數 .....	56
表 2-40 DER&U 目視檢測法評估準則 .....	57
表 2-41 各組合構件對橋梁重要性權重參考表 .....	57
表 2-42 公路橋梁耐震評估檢查表-落橋評估 .....	61
表 2-42 公路橋梁耐震評估檢查表-落橋評估（續） .....	62
表 2-43 公路橋梁耐震評估檢查表-強度韌性評估 .....	63
表 2-43 公路橋梁耐震評估檢查表-強度韌性評估（續） .....	64
表 2-44 金屬材料大氣腐蝕環境分類表-依金屬腐蝕速率分類 .....	66
表 2-45 構件重要性評分標準 .....	67
表 2-46 六評估因子之相對權重 .....	68
表 2-47 梁式橋及箱型橋重要指數計算範例 .....	69
表 2-48 各國評估指標判定方式及應用彙整 .....	72

表 3-1 專家訪談名單 .....	73
表 3-2 專家訪談重點意見摘整 .....	74
表 3-3 「公路橋梁檢測及補強規範」相關條文 .....	76
表 3-4 整橋風險評估結果分級 .....	77
表 3-5 重要程度評估因子權重 .....	81
表 3-6 構件重要程度調查專家填寫範例 .....	82
表 3-7 構件重要程度調查結果 .....	83
表 3-8 構件重要指標 .....	84
表 3-9 結構安全評等分級 .....	85
表 3-10 結構安全橋況與風險矩陣 .....	85
表 3-11 SCI 計算用部位及所屬構件 .....	87
表 3-12 下部結構 $CS_i$ 計算範例 .....	87
表 3-13 指數 $b$ 與 SCI 對照表 .....	88
表 3-14 指數 $a$ 與 SCI 對照表 .....	89
表 3-15 SCI 級距分數 .....	90
表 3-16 公路橋梁耐震評估檢查表-落橋評估項目 .....	91
表 3-17 公路橋梁耐震評估檢查表-強度韌性評估項目 .....	92
表 3-18 金屬腐蝕速率分類 .....	93
表 3-19 海洋鹽害環境下作用等級 .....	94
表 3-20 $RI_s$ 之啟動條件及評估項目 .....	95
表 3-21 耐洪安全評等分級 .....	96
表 3-22 耐洪安全橋況與風險矩陣 .....	97
表 3-23 FCI 計算用部位及所屬構件 .....	98
表 3-24 指數 $b$ 與 FCI 對照表 .....	98
表 3-25 指數 $a$ 與 FCI 對照表 .....	99
表 3-26 FCI 級距分數 .....	100

表 3-27 公路橋梁耐洪能力初步評估表評估項目 .....	101
表 3-28 $RI_F$ 之啟動條件及評估項目 .....	102
表 4-1 案例評估橋梁列表 .....	105
表 4-2 橋梁主要構件劣化現象及評等值 (橋梁 01) .....	106
表 4-3 橋梁主要構件劣化現象及評等值 (橋梁 02) .....	107
表 4-4 橋梁主要構件劣化現象及評等值 (橋梁 03) .....	108
表 4-5 橋梁主要構件劣化現象及評等值 (橋梁 04) .....	109
表 4-6 橋梁主要構件劣化現象及評等值 (橋梁 05) .....	110
表 4-7 橋梁主要構件劣化現象及評等值 (橋梁 06) .....	111
表 4-8 橋梁主要構件劣化現象及評等值 (橋梁 07) .....	112
表 4-9 橋梁主要構件劣化現象及評等值 (橋梁 08) .....	113
表 4-10 橋梁主要構件劣化現象及評等值 (橋梁 09) .....	114
表 4-11 橋梁主要構件劣化現象及評等值 (橋梁 10) .....	115
表 4-12 案例評估橋梁整橋風險評等結果 (本研究檢測員) .....	118
表 4-13 橋梁代號 07 美國評等方式構件狀況檢測結果 .....	119
表 4-14 橋梁代號 07 各項目評等結果 .....	122
表 4-15 橋梁代號 06、07 及 10 以美國方式評等結果 .....	122
表 4-16 案例評估橋梁整橋風險評等結果 (公式計算) .....	123
表 4-17 SCI 及 FCI 計算結果 (橋梁 01) .....	124
表 4-18 SCI 及 FCI 計算結果 (橋梁 02) .....	125
表 4-19 SCI 及 FCI 計算結果 (橋梁 03) .....	126
表 4-20 SCI 及 FCI 計算結果 (橋梁 04) .....	127
表 4-21 SCI 及 FCI 計算結果 (橋梁 05) .....	128
表 4-22 SCI 及 FCI 計算結果 (橋梁 06) .....	129
表 4-23 SCI 及 FCI 計算結果 (橋梁 07) .....	130
表 4-24 SCI 及 FCI 計算結果 (橋梁 08) .....	131

表 4-25 SCI 及 FCI 計算結果 (橋梁 09) .....	132
表 4-26 SCI 及 FCI 計算結果 (橋梁 10) .....	133
表 4-27 $RI_S$ 及 $RI_F$ 評估結果 (橋梁 01) .....	134
表 4-28 $RI_S$ 及 $RI_F$ 評估結果 (橋梁 02) .....	135
表 4-29 $RI_S$ 及 $RI_F$ 評估結果 (橋梁 03) .....	136
表 4-30 $RI_S$ 及 $RI_F$ 評估結果 (橋梁 04) .....	137
表 4-31 $RI_S$ 及 $RI_F$ 評估結果 (橋梁 05) .....	138
表 4-32 $RI_S$ 及 $RI_F$ 評估結果 (橋梁 06) .....	139
表 4-33 $RI_S$ 及 $RI_F$ 評估結果 (橋梁 07) .....	140
表 4-34 $RI_S$ 及 $RI_F$ 評估結果 (橋梁 08) .....	141
表 4-35 $RI_S$ 及 $RI_F$ 評估結果 (橋梁 09) .....	142
表 4-36 $RI_S$ 及 $RI_F$ 評估結果 (橋梁 10) .....	143
表 4-37 案例評估橋梁整橋風險評等結果比較 .....	144
表 4-38 崙天大橋及高寮大橋整橋風險評估結果 .....	145
表 4-39 美國方式評等結果與整橋風險評等結果比較 .....	145
表 5-1 座談會與會專家名單 .....	147
表 5-2 與會專家對整橋風險評估模式之相關意見 .....	148
表 5-3 學術會議議程 .....	150

# 第一章 緒論

## 1.1 計畫背景

民國 108 年 10 月 1 日，位於蘇澳港的南方澳大橋發生斷橋事故，政府除了救災及重建工作外，也針對全國橋梁之管理與檢測作業擬定改善作為，其中最為重要者即為行政院於 109 年 7 月 21 日頒布之「橋梁維護管理作業要點」（下簡稱院頒要點），該要點經行政院分行各部會及各縣市政府，並自當日生效，並依院頒要點建置「全國橋梁統計資訊網」，供各部會機關或民眾快速掌握全國橋梁現況。依據「全國橋梁統計資訊網」112 年 8 月 9 日統計，全國共有 26,212 座（正常使用、維修中及停用）6 公尺以上之橋梁，其中車行橋梁有 23,034 座、鐵道橋梁有 1,364 座、人行天橋有 1,814 座。其中車行橋梁交通部部屬機關（包含高速公路局、公路局、觀光局、民航局、桃園機場及港務公司）有 5,965 座，22 個縣市政府共有 16,839 座，其他部會（包含內政部、教育部、經濟部、科技部、農委會、退輔會）共 230 座，可知大部分車行橋梁均屬交通部及縣市政府所轄。圖 1.1 為「全國橋梁統計資訊網」（正常使用、維修中及停用）6 公尺以上各數量分布圓餅圖。

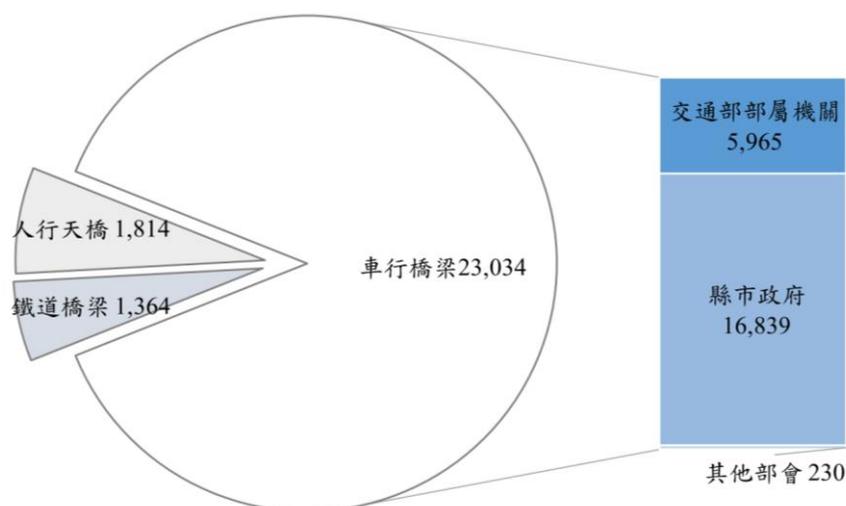


圖 1.1 我國各類橋梁數量分布圓餅圖（民國 112 年 8 月 9 日）

依據「公路養護規範」及「公路橋梁檢測及補強規範」之規定，定期檢測作業採逐跨逐構件進行，並依據劣化類型及劣化狀況評估 D.R.U 值，再依劣化範圍評定 E 值。其中構件維修的急迫性（U 值）為 1 時表示例行性維護即可；U 值等於 2 時則表示 3 年內進行維護或持續追蹤；U 值等於 3 時，表示 1 年內應進行維護；U 值等於 4 時，表示需緊急處置，但此評定結果僅能針對構件進行維修處置之建議，無法正確反應橋梁實際狀況之差異，而橋梁構件中具有相同之 U 值其損壞風險未必相同。因此，本計畫爰對不同國家使用的橋梁檢測方式及橋梁狀況指標進行文獻回顧，參酌各國的檢測結果以及指標的建立方式，利用目視檢測結果 DER&U 值，配合構件對橋梁重要性之權重，計算橋梁的風險指標，此風險指標評估將在有限之人力和經費下，以利橋梁維護管理作業及資源分配，達成橋梁養護績效及維護橋梁與用路人之安全。

## 1.2 計畫內容與工作項目

本計畫研究期程為 1 年，為評估橋梁整體狀況（以混凝土橋為主），因此利用目視檢測結果 DER&U 值，配合構件對橋梁重要性之權重，建立理論模式計算橋梁之整體狀況，以利橋梁維護管理作業及資源分配，主要研究內容與工作項目可分為以下幾項：

### (一) 重要文獻回顧：

1. 蒐集國外（美國、日本、南非等）利用目視檢測結果評定橋梁整體狀況之案例。
2. 釐清評定方法之參數及應用，做為後續研擬橋梁相關指標之參考。

### (二) 研擬橋梁相關指標與權重：

1. 從風險角度，研擬橋況評估指標，並建立適當的指標權重。
2. 相關指標應可由目視檢測 DER&U 值進行分析，或由「車行橋梁管理資訊系統」中既有資料取得加入評估。

### (三) 辦理專家學者訪談及座談：

進行專家學者訪談及座談，釐清前述指標之合理性及適用性。

(四) 建立橋梁整體狀況評估模式：

利用橋梁各相關指標，整合出一綜合評估指標，並建立橋梁整體狀況評估模式，以利快速評估橋梁整體狀況。

(五) 案例評估：

從「車行橋梁管理資訊系統」中選取 10 座橋梁進行評估，評估結果邀集橋梁相關專家，利用系統中的檢測照片、現地實際檢視或其他方法，以瞭解其評估成果與橋梁實際狀況之合理性，並回饋校正評估模式。

(六) 計畫相關配合項目：

1. 針對計畫重要成果，製作海報或影片電子檔。
2. 將本期研究/計畫成果投稿運輸計劃季刊、國內外期刊、學術研討會。
3. 辦理成果行銷推廣活動。
4. 就本計畫成果之特性，選填合適績效指標項目，並以量化或質化方式，說明本計畫主要研究/計畫成果及重大突破。本計畫績效指標項目至少包括下列第 1~3 項：
  - (1) 論文與研究報告：發表在國際上重要學術研討會或期刊（如：SCI、SSCI、EI、AHCI、TSSCI 等）之論文篇數、被引用情形及影響係數、論文獲獎等情形，或研究成果被引用或被參採情形等。
  - (2) 培育及延攬人才：如學生畢業後從事相關行業、延攬國際級專業科研人才情形等。
  - (3) 辦理學術活動：包含研討會（workshop）、學術會議（symposium）、學術研討會（conference）、論壇（forum）等。
  - (4) 前述其他可供列入之績效指標與佐證資料。

### 1.3 計畫範圍與研究限制

依本計畫 3 月份工作會議決議「今年度計畫針對一般性橋梁進行研究，成果若能符合橋梁管理機關應用之需求，後續再考慮特殊性橋梁」，故本研究之範圍與限制條列如下：

- (一) 僅針對車行橋梁進行研究，鐵道橋梁及人行天橋不列入。
- (二) 僅針對混凝土橋，鋼結構橋梁不列入。
- (三) 僅針對一般性橋梁（梁式橋及板橋），特殊性橋梁不列入。
- (四) 利用 DER&U 定期檢測紀錄及橋梁管理系統中之基本資料進行初步評估，對於特殊狀況之橋梁不一定能準確評估。

### 1.4 計畫流程

本計畫之進行流程如圖 1.2 所示，首先蒐集國內外文獻資料，接著進行專家訪談，依據訪談結果初擬相關指標及整橋風險評估模式，同時進行案例評估橋梁篩選及現地目視檢測，使用初擬之指標及評估模式計算各案例橋梁之整橋風險指標。

期中報告後依審查意見調整整橋風險評估模式，後於 112/10/26 召開一場專家座談會，將調整後之整橋風險評估模式、相關指標指標及風險評估項目於會議中進行討論，會後依專家共識調整指標計算方式及評估模式。於 112/11/9 辦理完成學術會議，亦完成成果海報製作。另外，期中報告後完成研討會投稿（投稿至第二十一屆營建產業永續發展研討會），於 112/10/14 出席研討會並口頭發表；亦完成學術期刊投稿（投稿至 Structure and Infrastructure Engineering），於 112/11/3 收到接受通知，並於 113/2/29 出版。

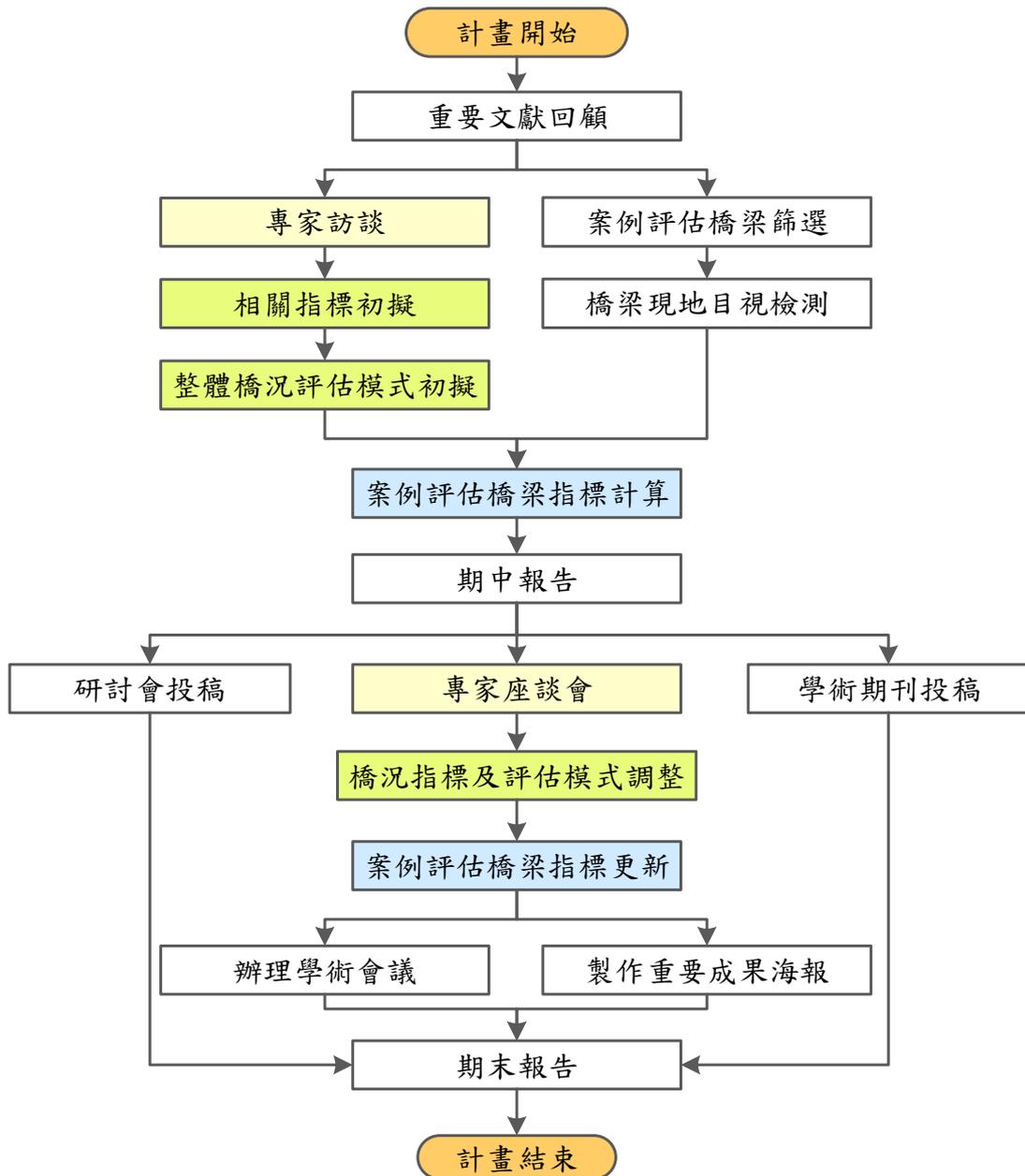


圖 1.2 計畫流程圖



## 第二章 文獻回顧

本研究回顧美國、日本、南非、中國大陸之橋梁檢測方式及橋況指標評估方式，以及芬蘭、德國之橋況指標評估方式，同時回顧國內與橋況評估之相關規範及研究成果，如橋梁耐震評估與補強設計規範、跨河橋梁安全評估之研究、大氣腐蝕劣化因子之研究及整橋構件權重分配之研究。

### 2.1 美國橋梁檢測及橋況評估

#### 2.1.1 橋梁管理發展歷程

1967年橫跨俄亥俄河（Ohio River）的銀橋（Silver Bridge）斷橋事件，如圖2.1所示，促使美國聯邦政府開始重視橋梁檢測作業，以及老舊橋梁維護工作，該斷橋事故同時亦催生美國國會於1968年通過聯邦公路補助法案（Federal-Aid Highway Act of 1968），要求運輸部門建立全國性橋梁檢測標準[1]，美國聯邦公路總署（Federal Highway Administration, FHWA）始建立全國橋梁檢測標準（National Bridge Inspection Standards, NBIS），自此美國方有一致性的檢測標準與頻率，並同時著手進行橋梁檢測人員專案訓練計畫[2]；相關橋梁檢測手冊隨之陸續發布，例如：聯邦公路總署的橋梁檢測員訓練手冊（Bridge Inspector's Training Manual 70, Manual 70）、美國全國公路與運輸官員協會（American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO）的橋梁維護檢測手冊（Manual for Maintenance Inspection of Bridges），以及聯邦公路總署的全國橋梁結構清冊與服務登載與編碼指南（Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges, Coding Guide）[2]。



資料來源：<https://www.mywvhome.com/twenties/depot.htm>

圖 2.1 銀橋斷橋前後

1983年米納斯河橋（Mianus River Bridge）鋼梁斷裂事件，以及1987年斯科哈里溪橋（Schoharie Creek Bridge）春季洪水沖刷斷橋事件，促使聯邦公路總署修改全國橋梁檢測標準，同步更新橋梁斷裂關鍵構件檢測與水下檢測的相關規範[2]，新增至少60個月需進行一次水下檢測（Underwater Inspection）的規定，並發布斷裂關鍵橋梁構件檢測手冊（Inspection of Fracture Critical Bridge Members）[4]、涵洞檢測手冊（Culvert Inspection Manual）[5]，以及橋梁沖刷（Scour at Bridges）一書，該書隨後逐年擴編為水利工程通告第18號（Hydraulic Engineering Circular No. 18, HEC-18）—評估橋梁沖刷（Evaluating Scour at Bridges）[6]，提供發展與應用橋梁沖刷評估之指南。

2007年I-35W密西西比河大橋倒塌後，美國運輸部（U.S. Department of Transportation）的監察長辦公室（Office of Inspector General, T-OIG）針對全國橋梁清冊（National Bridge Inventory, NBI）資料完善性進行查核，為此，聯邦公路總署建立並先行試辦一系統化資料驅動的風險監督制度，以監控各州對全國橋梁檢測標準的遵行情況[7]，並於2013年發佈全國橋梁檢測計畫監督指標集（Metrics for the Oversight of the National Bridge Inspection Program）[8]。

因應2012年國會通過邁向21世紀進步法案（Moving Ahead for Progress in the 21<sup>st</sup> Century Act, MAP-21），以及2015年國會提出修復美國陸路運輸

法案（Fixing America’s Surface Transportation Act, FAST Act），聯邦公路總署於2016年起修改全國性能管理措施：全國公路性能計畫之鋪面與橋梁狀況評估標準（National Performance Management Measures: Assessing Pavement Condition for the National Highway Performance Program and Bridge Condition for the National Highway Performance Program），擬計畫於2026年前，分兩階段進行相關橋梁狀況評估方式的變革，並翻修全國橋梁檢測標準、橋梁檢測相關手冊、全國橋梁清冊資料庫、檢測與管理人員訓練等配套措施[9][10]；繼之，AASHTO分別於2018及2019年修改橋梁評估手冊（Manual for Bridge Evaluation, MBE）[11]與橋梁構件檢測手冊（Manual for Bridge Element Inspection, MBEI）[12]，2022年聯邦公路總署頒布最新版的全國橋梁檢測標準 [13]、橋梁檢測員參考手冊（Bridge Inspector’s Reference Manual, BIRM）[2]，以及全國橋梁清冊規範（Specifications for the National Bridge Inventory, SNBI）[14]，計畫以6年時間進行全國橋梁清冊資料庫的換代升級工作，相關手冊封面如圖2.2所示，由左至右分別為橋梁評估手冊、橋梁元件檢測手冊、橋梁檢測員參考手冊，以及全國橋梁清冊規範。

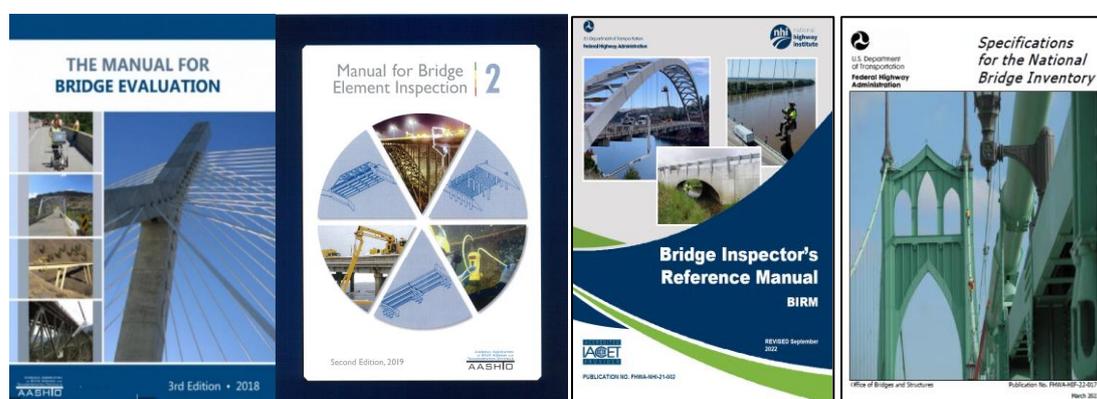


圖 2.2 美國橋梁檢測相關手冊

### 2.1.2 橋梁檢測與評估手冊概述

上述AASHTO提出最新版的全國橋梁評估手冊[11]，係提供橋梁檢測與評估全方位的資訊，包括：全國橋梁檢測標準相關規定，相關圖文資料與報告事項，橋梁管理系統，檢測相關之人員資格、檢測類別、安全、規劃、

裝備、技術、報告等說明，材料試驗，以及載重評估等資訊；AASHTO編訂的橋梁構件檢測手冊[12]則側重於橋梁構件編碼分類與說明，橋梁構件劣化缺陷的檢測等級的判釋標準與說明，以及橋梁構件劣化缺陷的檢測紀錄與範例。

2022年聯邦公路總署頒布新版全國橋梁清冊規範[14]，提供全國橋梁清冊資料庫編碼的相關規定與說明，包括：橋梁身分、橋梁材質、橋梁型式、橋梁幾何資料、道路與水道特性、載重、檢測、橋梁狀況等項目；同年，聯邦公路總署新修訂的橋梁檢測員參考手冊[2]，提供橋梁檢測員執行橋檢的專業性技能與知識參考，包括：橋檢作業的基本知識，橋梁、涵洞與水道之特性、檢測與評估技術，以及檢測文件工作等內容。

### 2.1.3 橋梁狀況編碼

美國政體係採聯邦制，故而各州均有相當程度的獨立運行特性，在此模式的橋梁管理體制下，聯邦與各州之間勢必需有良好的接軌制度，AASHTO即擔負此一鏈接組織，該組織係由聯邦與各州運輸相關官員參與，協調各州在運輸領域的法律與政策的接軌，並同時滿足聯邦層級的相關要求，以符合國會的監督法規規定。

各州在執行橋梁檢測時，依照AASHTO編訂的橋梁構件檢測手冊[12]，以及聯邦公路總署頒布的全國橋梁清冊規範[14]，該兩本手冊提供聯邦與各州橋梁構件編碼對接的依據，橋梁部位（Component）分為8大類，即橋面板、上部結構、下部結構、涵洞、護欄、伸縮縫、支承，以及塗裝/磨耗層等類，以下再細分為上百個構件（Element）類別；換言之，各州須在此一橋梁構件編碼規範之下，將橋梁相關資料上傳至聯邦公路總署的全國橋梁清冊資料庫內，提供聯邦層級所需要的橋梁狀況資訊，而各州亦可據此規範，更細緻化相關橋梁構件編碼，擴編符合各州州情需要的橋梁檢測/管理/維護系統。

## 2.1.4 橋梁構件狀況分級 (各州執行檢測面向)

整座橋梁部位分為8大類[12,14]，即橋面板、上部結構、下部結構、涵洞、護欄、伸縮縫、支承，以及塗裝/磨耗層等類，於各部位之下，依橋梁具有之構件類別，詳細評估各構件實際狀況，其中橋面板與塗裝/磨耗層係採面積為評估單位，上部結構、下部結構、涵洞、護欄，以及伸縮縫多採長度為評估單位，少部分採數量為評估單位，支承則以數量為評估單位。

橋梁構件檢測手冊[12]稱橋梁構件實際狀況為狀況型態 (Condition State, CS)，規範各類劣化缺陷為四個等級，由好至劣依次包括：狀況型態1 (CS1) 為良好 (Good)、狀況型態2 (CS2) 為尚可 (Fair)、狀況型態3 (CS3) 為劣等 (Poor)，以及狀況型態4 (CS4) 為嚴重 (Severe)，通常橋梁構件評為狀況型態4 (CS4) 多暗示有載重問題，需進行結構檢視 (Structural Review) [16]。

針對各構件，橋梁構件檢測手冊[12]依材料類別詳列各類型的劣化缺陷編碼，並狀況型態等級標準，典型範例如表2-1與表2-2所示，提供檢測人員各狀況型態等級的劣化照片，劣化空間分布評估圖例為參考；此外，橋梁構件檢測手冊[12]亦針對環境因素，包括交通活動、暴露之侵蝕物、防護/防水狀況，以及極端溫度等4個因素，提供影響程度評定標準。

各州執行橋梁檢測作業，依所檢測的橋梁構件，按各類型劣化缺陷的狀況型態，逐一量測與評等，完整紀錄累積橋梁構件所有劣化缺陷的狀況型態；當同處缺陷有多種劣化缺陷類型發生，例如同時發現混凝土剝落、鋼筋鏽蝕、裂縫等狀況，可採取逐一紀錄劣化缺陷類型，但同處缺陷不可重覆量測與評等，抑或該處缺陷僅紀錄劣化缺陷類型最嚴重狀況型態，以代表該處缺陷劣化的狀況型態[12]。

表 2-1 橋梁構件狀況型態等級標準：鋼筋混凝土劣化缺陷

缺陷種類	狀況型態1 良好	狀況型態2 尚可	狀況型態3 劣等	狀況型態4 嚴重
層隙/ 剝離/ 補丁 (1080)	無	具層隙；剝離深度小於1英吋或直徑小於6英吋；補丁區況良好	大型剝離深度大於1英吋或直徑大於6英吋；補丁區況不佳或惡化；均未達至結構檢視程度	狀況達致需結構檢視程度，以決定對該構件或橋梁之強度或服務性影響程度，或已完成結構檢視，並橋梁構件之強度或服務性受衝擊
鋼筋 裸露 (1090)	無	未有可量測的斷面損失	有可量測的斷面損失，但均未達至結構檢視程度	
白華/ 銹斑 (1120)	無	構件表面白色但無堆積或滲少許但無銹斑	嚴重白華堆積並表面銹斑	
混凝土 裂縫 (1130)	不明顯裂縫或已填封之中等寬度裂縫	未填封之中等寬度裂縫或網狀裂縫	寬裂縫或嚴重網狀裂縫	
磨蝕/ 磨耗 (1190)	無磨蝕或磨耗	粗粒料外露但仍於安全黏著於混凝土	粗粒料掉落或突出於混凝土基質	
沉陷 (4000)	無	容許極限內或沉陷停止未對結構造成惡化	超過容許極限，但均未達至結構檢視程度	
沖刷 (6000)	無	容許極限內或沖刷停止未對結構造成惡化	超過容許極限，但未達危急極限，且均未達至結構檢視程度	
損害 (7000)	不適用	構件受衝擊損害，在適當材料缺陷項目下，該特定損傷已列入狀況型態2	構件受衝擊損害，在適當材料缺陷項目下，該特定損傷已列入狀況型態3	構件受衝擊損害，在適當材料缺陷項目下，該特定損傷已列入狀況型態4

資料來源：Manual for Bridge Element Inspection, 2<sup>nd</sup> edition, AASHTO。本計畫翻譯整理

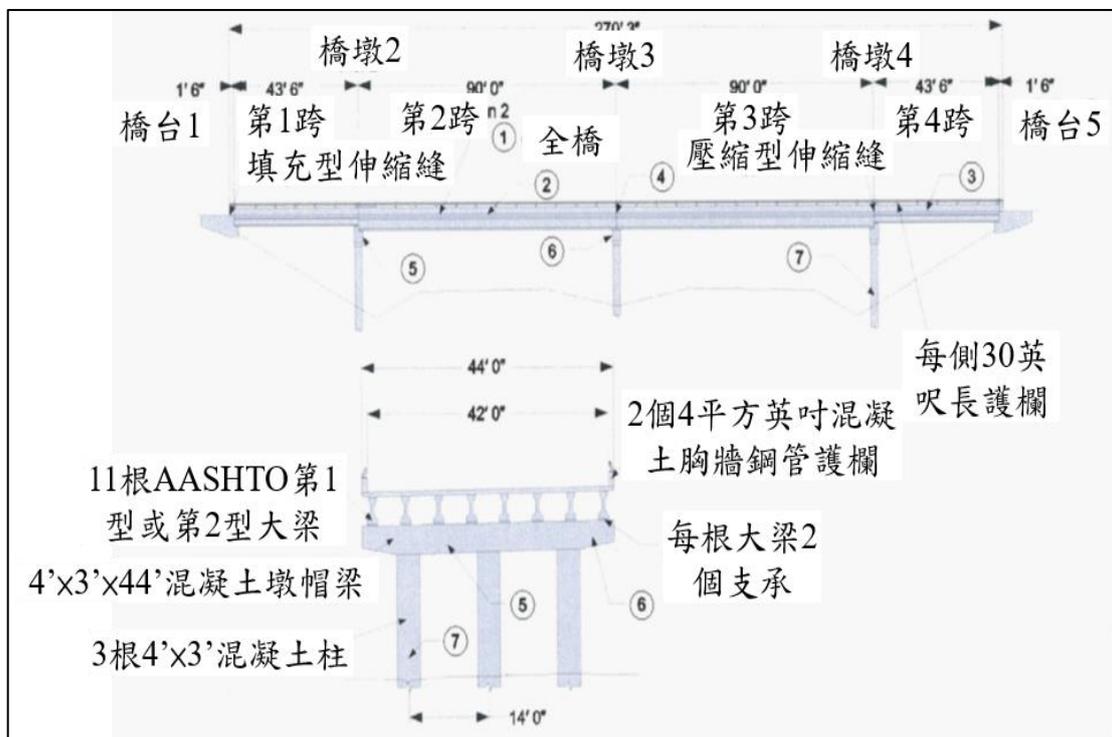
表 2-2 橋梁構件狀況型態等級標準：鋼材劣化缺陷

缺陷種類	狀況型態1 良好	狀況型態2 尚可	狀況型態3 劣等	狀況型態4 嚴重
鏽蝕 (1000)	無	雀斑狀，鏽蝕已啟動	斷面損失明顯或鏽斑出現，但均未達至結構檢視程度	狀況達致需結構檢視程度，以決定對該構件或橋梁之強度或服務性影響程度，或已完成結構檢視，並橋梁構件之強度或服務性受衝擊
裂縫 (1010)	無	裂縫有效停止，或被停止孔、雙層片或相似	裂縫未停止，但未達至結構檢視程度	
連接 (1020)	連接恰當，且功能如預期發揮	固定裝置遺失或大片鏽塊，且均未扭曲，但連接恰當，且功能如預期發揮	螺栓、鉚釘或固定裝置遺失；焊接斷裂；成片鏽塊伴有扭曲，但均未達至結構檢視程度	
扭曲 (1900)	無	扭曲不需減緩或已減緩之扭曲	扭曲需減緩，但未達至結構檢視程度	
沉陷 (4000)	無	容許極限內或沉陷停止未對結構造成惡化	超過容許極限，但均未達至結構檢視程度	
沖刷 (6000)	無	容許極限內或沖刷停止未對結構造成惡化	超過容許極限，但未達危急極限，且均未達至結構檢視程度	
損害 (7000)	不適用	構件受衝擊損害，在適當材料缺陷項目下，該特定損傷已列入狀況型態2	構件受衝擊損害，在適當材料缺陷項目下，該特定損傷已列入狀況型態3	構件受衝擊損害，在適當材料缺陷項目下，該特定損傷已列入狀況型態4

資料來源：Manual for Bridge Element Inspection, 2<sup>nd</sup> edition, AASHTO。本計畫翻譯整理

以下以 4 跨預力混凝土橋的檢測結果為案例，橋梁側視圖與剖面圖如圖 2.3 所示，該橋全長 270 英尺，橋寬 44 英尺，圖中全圖中數字係為缺陷編號，依檢測部位項目分類[12]：(1) 橋面板總面積為 11,880 平方英尺；(2) 兩側護欄為鋼筋混凝土與金屬組成，鋼筋混凝土護欄總長為 540 英尺，鋼材金屬護欄總長為 540 英尺，金屬護欄保護層面積為 1,726 平方英尺；(3) 每跨度為 8 根預力混凝土大梁組成，大梁總長度為 2,144 英尺；(4) 每根大梁均有 2 個彈性支承，共計 64 個支承；(5) 橋台處伸縮縫為填充式伸縮縫，橋墩處為壓縮式伸縮縫，伸縮縫總長度分別為 88 英尺與

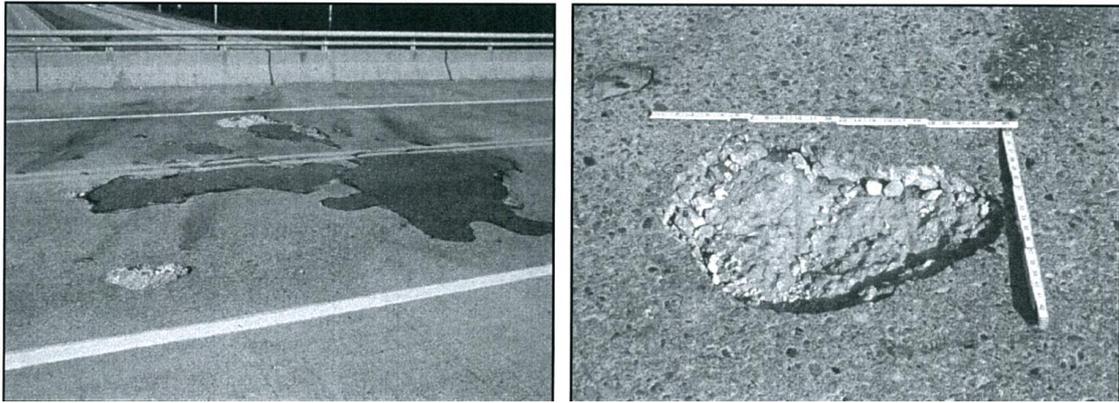
132 英呎；(6) 壁式橋墩 2 座，總長度為 88 英呎；(7) 每個橋墩由 3 根鋼筋混凝土柱與鋼筋混凝土墩帽組成，計橋柱 9 根，墩帽總長為 132 英呎。檢測結果如下所述：



資料來源：Manual for Bridge Element Inspection, 2<sup>nd</sup> edition, AASHTO。本計畫翻譯整理

圖 2.3 預力混凝土橋側視圖與剖面圖

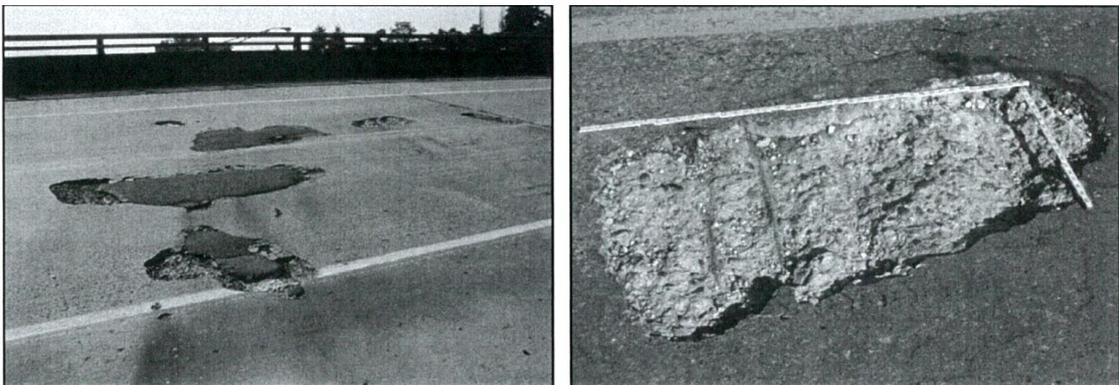
- (一) 缺陷編號 1：接近橋台 1 處的橋面板，其表面廣泛分佈橫向髮絲狀的固有裂縫，其間距超過 3 英呎，裂縫寬度小於 0.012 英吋，劣化缺陷判定為狀況型態 1 (CS1)。
- (二) 缺陷編號 2：第 2 跨中央處有混凝土剝落達 1~2 英吋深，鋼筋外露，面積約為 12 平方英呎；混凝土補丁面積約為 100 平方英呎，如圖 2.4 所示。鋼筋外露陷判定為狀況型態 2 (CS2)，混凝土補丁與剝落深度超過 1 英寸，缺陷整體判定為狀況型態 3 (CS3)，故該缺陷以狀況型態 3 (CS3) 為代表。



資料來源：Manual for Bridge Element Inspection, 2<sup>nd</sup> edition, AASHTO

圖 2.4 缺陷編號 2 的狀況

(三) 缺陷編號 3：第 4 跨度中央處有混凝土剝落達 1~2 英吋深，鋼筋外露，面積約為 40 平方英呎；混凝土補丁面積約為 60 平方英呎，如圖 2.5 所示。鋼筋外露陷判定為狀況型態 2 (CS2)，混凝土補丁與剝落深度超過 1 英寸，缺陷整體判定為狀況型態 3 (CS3)，故該缺陷以較惡劣的狀況型態 3 (CS3) 為代表。



資料來源：Manual for Bridge Element Inspection, 2<sup>nd</sup> edition, AASHTO

圖 2.5 缺陷編號 3 的狀況

(四) 缺陷編號 4：橋墩編號 3 處，40 英呎伸縮縫有混凝土剝落，深度為 6 英吋，如圖 2.6 所示。依伸縮縫劣化標準，判定為狀況型態 3 (CS3)，若依混凝土劣化標準，判定為狀況型態 4 (CS4)，故該缺陷以較惡劣的狀況型態 4 (CS4) 為代表。

(五) 缺陷編號 5：橋墩編號 2 處，墩帽有 12 英呎長的混凝土剝落，深度為 2 英吋，鋼筋外露，如圖 2.7 所示。依混凝土劣化標準，劣化

缺陷判定為狀況型態 3 (CS3)。

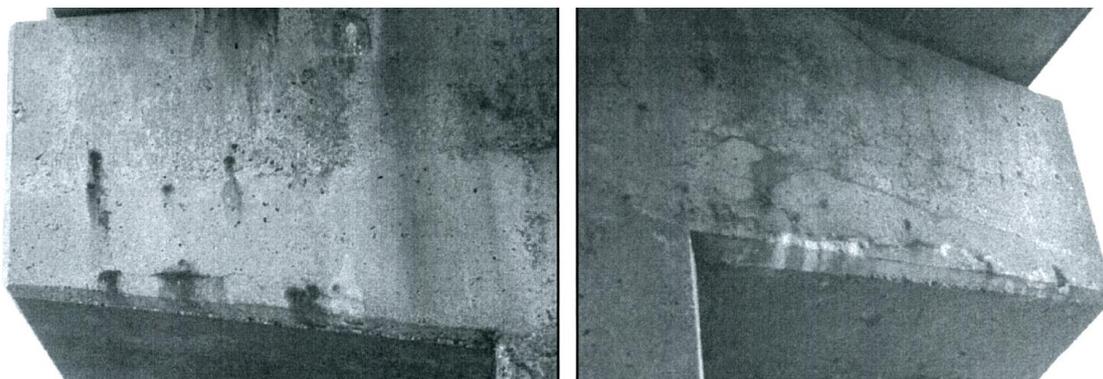


資料來源：Manual for Bridge Element Inspection, 2<sup>nd</sup> edition, AASHTO

圖 2.6 缺陷編號 4 的狀況

圖 2.7 缺陷編號 5 的狀況

(六) 缺陷編號 6：橋墩編號 3 處，墩帽兩側懸臂位置各有 0.04 英吋寬裂縫，分別為 2 英尺與 4 英尺長，均具有銹斑痕跡，其中一條裂縫具有白華現象，如圖 2.8 所示。依混凝土裂縫標準，判定為狀況型態 2 (CS2)，若依混凝土白華與銹斑的判釋標準，判定為狀況型態 3 (CS3)，故該缺陷以較惡劣的狀況型態 3 (CS3) 為代表。



資料來源：Manual for Bridge Element Inspection, 2<sup>nd</sup> edition, AASHTO

圖 2.8 缺陷編號 6 的狀況

(七) 缺陷編號 7：橋墩編號 4 處，墩柱有 11 英尺長×3/16 英吋寬的裂縫，如圖 2.9 所示。由先前結構檢視得知，該裂縫不影響構件強度或服務性，依混凝土裂縫標準，判定為狀況型態 3 (CS3)。



資料來源：Manual for Bridge Element Inspection, 2<sup>nd</sup> edition, AASHTO

圖 2.9 缺陷編號 7 的狀況

該橋的各構件狀況型態一覽表如表2-3所示，同一橋梁構件各種狀況型態的數值（面積/長度/數量）總和，必定等於該構件的面積/長度/數量值，同一部位具有不同缺陷類型，通常取最嚴重狀況型態者為代表，不可重覆計算缺陷於該構件的面積或長度。

表 2-3 橋梁元件狀況型態 (CS) 一覽表

構件編號	構件描述	量測單位	總數	狀況型態1	狀況型態2	狀況型態3	狀況型態4	缺陷編號
12	鋼筋混凝土橋面板	ft <sup>2</sup>	11,880	11,628	0	252	0	1~4
1080	層隙/剝落/補丁	ft <sup>2</sup>	252	0	0	252	0	2~4
301	填充型伸縮縫	ft	88	88	0	0	0	
302	壓縮型伸縮縫	ft	132	92	0	0	40	4
2360	鄰近橋面板或端部	ft	40	0	0	0	40	4
330	金屬護欄	ft	540	540	0	0	0	
515	鋼保護塗層	ft <sup>2</sup>	1,726	1,726	0	0	0	
331	鋼筋混凝土護欄	ft <sup>2</sup>	540	540	0	0	0	
109	預力混凝土大梁	ft <sup>2</sup>	2,144	2,144	0	0	0	
310	支承	個	64	64	0	0	0	
215	鋼筋混凝土橋台	ft	88	88	0	0	0	
205	鋼筋混凝土柱	個	9	8	0	1	0	7
1130	裂縫	個	1	0	0	1	0	7
234	鋼筋混凝土墩帽	ft <sup>2</sup>	132	114	0	18	0	5, 6
1990	外露鋼筋	ft	12	0	0	12	0	5
1120	白華/銹斑	ft	6	0	0	6	0	6

資料來源：Manual for Bridge Element Inspection, 2<sup>nd</sup> edition, AASHTO。本計畫翻譯整理

## 2.1.5 橋梁部位狀況評定 ( 聯邦清冊彙整面向 )

各州將橋梁檢測作業的結果，依聯邦公路總署頒布的全國橋梁清冊規範標準[14]，僅就橋梁的橋面板、上部結構、下部結構、涵洞、護欄、伸縮縫，以及支承等7類部位進行橋梁狀況登載[12, 14]，若為跨水橋梁則另包括水道、沖刷，以及水下檢測等項目，依各個橋梁部位類別，彙整對應橋梁構件的檢測結果，按表2-4的標準進行橋梁部位綜合評分，再上傳至聯邦公路總署的全國橋梁清冊資料庫內，提供聯邦層級所需要的橋梁狀況資訊。

表 2-4 美國聯邦公路總署的橋梁部位評分標準

評分	狀況	描述
N	不適用 (Not Applicable)	部位不存在
9	優良 (Excellent)	獨立固有缺陷
8	很好 (Very Good)	一些固有缺陷
7	良好 (Good)	一些輕微缺陷
6	符合需求 (Satisfactory)	廣泛分布輕微缺陷或獨立中等缺陷
5	尚可 (Fair)	一些中等缺陷；部位性能與/或強度未受影響
4	劣等 (Poor)	廣泛分布中等缺陷或獨立重大缺陷；部位性能與/或強度受影響
3	嚴重 (Serious)	重大缺陷；部位性能與/或強度受嚴重受影響
2	危急 (Critical)	重大缺陷；部位嚴重被連累，須頻繁監控、明確載重限制與/或矯正行動，以確保橋梁開通
1	幾近失能 (Imminent Failure)	因部位狀況橋梁封閉，修理或修復可恢復服務
0	失能 (Failed)	因部位狀況橋梁封閉，無法矯正，需替換以恢復服務

資料來源：Specifications for the National Bridge Inventory, FHWA。本計畫翻譯整理

美國全國橋梁清冊規範[14]將橋梁部位狀況分為11等級，如表2-4所示，橋梁部位狀況由失能至優良共分為10個等級，分數評等自0至9，倘若無此部位則填寫N，每等級均有對應缺陷狀況描述，內容包括劣化缺陷的嚴重程度 (Severity)、範圍 (Extent)，以及對部位性能 (Performance) 和/或強度 (Strength) 的影響 (Effect)，其中 (1) 嚴重程度劃分為：(a) 輕微 (Minor) 缺陷，代表劣化缺陷已啟動，但未視為明顯；(b) 中等 (Moderate) 缺陷，代表劣化缺陷明顯，但未對部位性能和/或強度構成影響；(c) 重大

(Major) 缺陷，代表劣化缺陷明顯已對部位性能和/或強度構成影響，需進行結構或水利檢視；針對不同材料，全國橋梁清冊規範[14]詳列劣化缺陷嚴重程度的評分指引，表2-5為扭曲、沉陷，以及沖刷的嚴重程度評分指引，適用所有材料。

表 2-5 橋梁部位劣化缺陷嚴重程度的評分指引

缺陷種類	輕微	中等
扭曲	扭曲已被減緩或不需減緩	扭曲需減緩但未被強調
沉陷	容許極限內或沉陷停止未對結構造成惡化	超過容許極限
沖刷	容許極限內	超過容許極限但未達危急極限

資料來源：Specifications for the National Bridge Inventory, FHWA。本計畫翻譯整理

表2-6為混凝土劣化缺陷嚴重程度的評分指引，多數劣化缺陷為定性描述，僅有剝離與裂縫為定量評等描述。

表 2-6 混凝土劣化缺陷嚴重程度的評分指引

缺陷種類	輕微	中等
層隙/剝離/補丁	層隙/小型剝離/補丁區況良好	大型剝離/補丁區況不佳或惡化
鋼筋裸露	未有可量測的斷面損失	有可量測的斷面損失
預力裸露	未有斷面損失	有斷面損失
裂縫	未填封之中等寬度裂縫或網狀裂縫	寬裂縫或嚴重網狀裂縫
磨蝕/磨耗/剝落	粗粒料外露但仍於安全黏著於混凝土	粗粒料掉落或突出於混凝土基質
白華/銹斑	表面白或淋滲少許，無銹斑	表面銹斑或嚴重白華堆積

備註：

- 1.不明顯裂縫—裂縫寬度小於0.004英吋（預力混凝土）或0.012英吋（鋼筋混凝土），中等裂縫已填封。
- 2.中等裂縫—裂縫寬度範圍為0.004~0.009英吋（預力混凝土）或0.012~0.05英吋（鋼筋混凝土）。
- 3.寬等裂縫—裂縫寬度大於0.009英吋（預力混凝土）或0.05英吋（鋼筋混凝土）。
- 4.中等網狀裂縫—裂縫間距範圍為1~3英呎。
- 5.嚴重網狀裂縫—裂縫間距小於1英呎。
- 6.小型剝離—深度小於1英吋或直徑小於6英吋。
- 7.大型剝離—深度大於1英吋或直徑大於6英吋。

資料來源：Specifications for the National Bridge Inventory, FHWA。本計畫翻譯整理

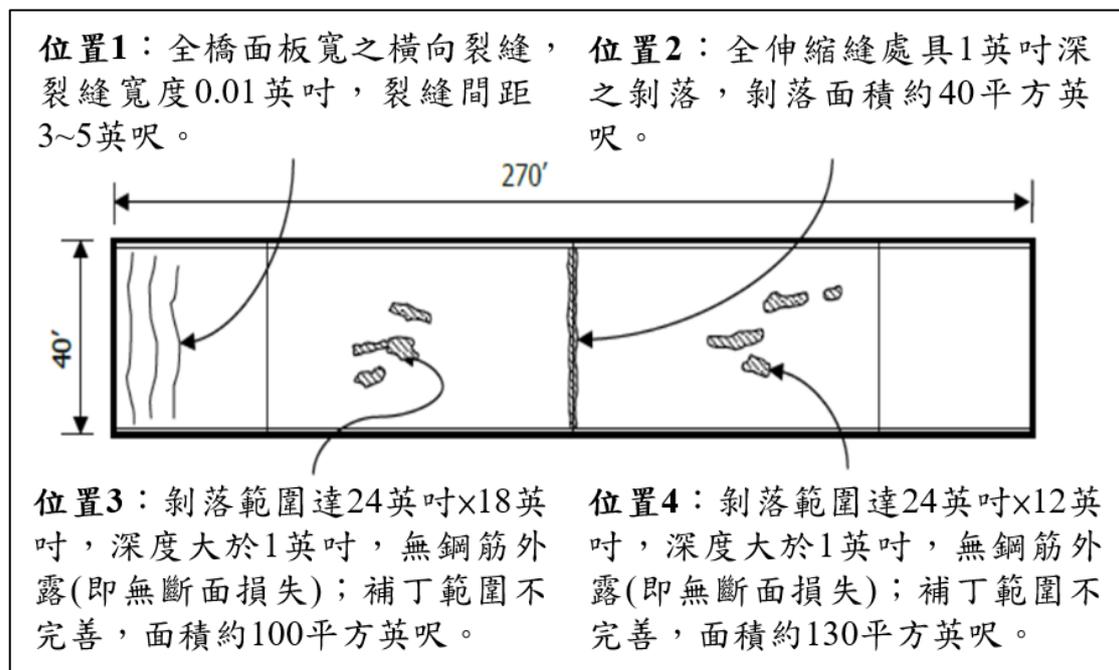
表2-7為鋼材劣化缺陷嚴重程度的評分指引，劣化缺陷為定性描述；(2)劣化缺陷的範圍區分為：(a)獨立 (Isolated) 缺陷，代表一個或數個集中分布位置的缺陷；(b)一些 (Some) 缺陷，代表缺陷盛行率多於獨立缺陷，但少於廣泛缺陷；(c)廣泛 (Widespread) 缺陷，代表缺陷出現於許多分離位置的缺陷。

表 2-7 鋼材劣化缺陷嚴重程度的評分指引

缺陷種類	輕微	中等
銹蝕	雀斑狀，銹蝕已啟動	斷面損失明顯
裂縫	裂縫有效停止	裂縫未停止
連接	固定裝置遺失，大片銹塊但未扭曲	螺栓、鉚釘或固定裝置遺失，焊接斷裂，成片銹塊伴有扭曲

資料來源：Specifications for the National Bridge Inventory, FHWA。本計畫翻譯整理

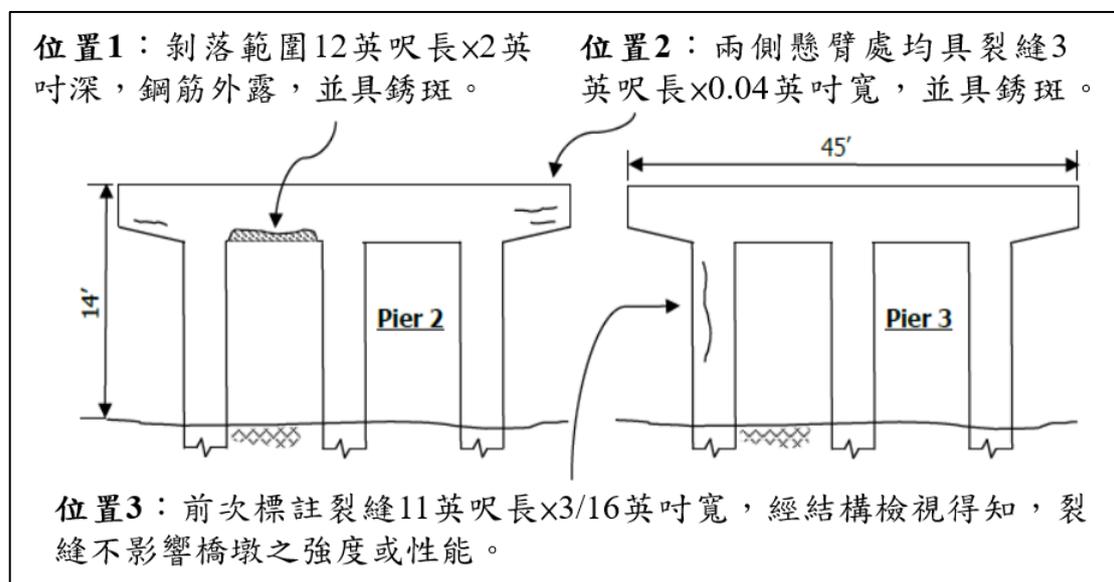
以下仍以前開4跨預力混凝土橋的檢測結果為案例說明，如圖2.4~圖2.11所示，橋面板部位計有4處劣化缺陷，如圖2.10所示，分別對應前述缺陷編號1、4、3、2，位置1缺陷屬固有廣泛缺陷，位置2~4缺陷均屬中等獨立缺陷，缺陷均未穿透橋面板，綜合評等橋面板部位狀況為一些中等缺陷，評分屬於5。



資料來源：Specifications for the National Bridge Inventory, FHWA。本計畫翻譯整理

圖 2.10 橋面板部位缺陷狀況

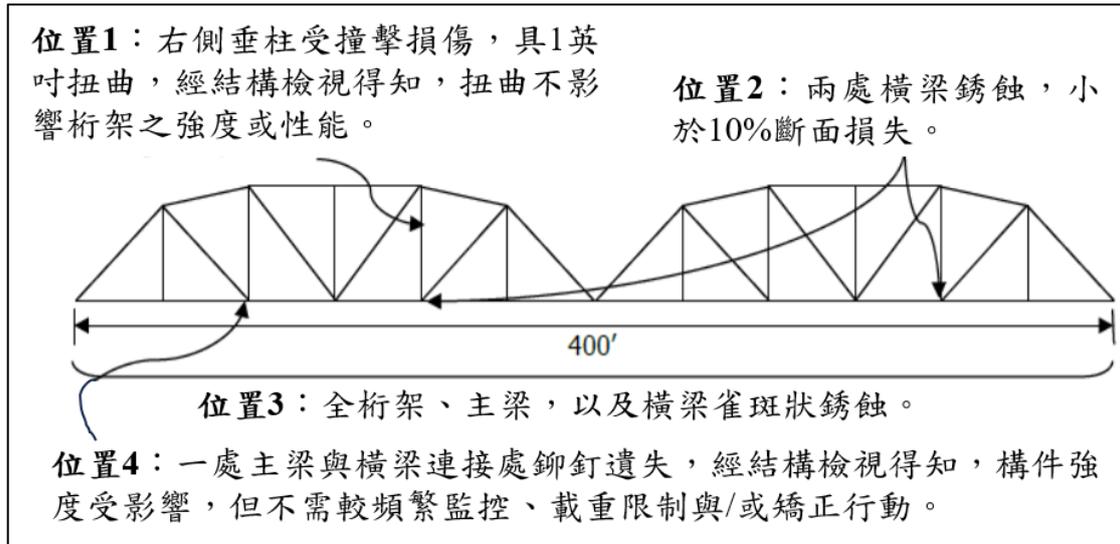
下部結構部位計有 3 處劣化缺陷，如圖 2.11 所示，分別對應前述缺陷編號 5~7，位置 1~3 缺陷均中等獨立缺陷，缺陷均未影響部位性能與強度，綜合評等下部結構部位狀況為一些中等缺陷，評分屬於 5。



資料來源：Specifications for the National Bridge Inventory, FHWA。本計畫翻譯整理

圖 2.11 下部結構部位缺陷狀況

上部結構部位狀況評分以雙跨鋼桁架橋的檢測為例，如圖2.12所示，位置1缺陷為桁架立柱扭曲，如圖2.13所示，但未影響部位性能或強度，屬於中等獨立缺陷，位置2缺陷為兩處橫梁端銹蝕，斷面損失少於10%，屬於一些獨立缺陷，位置3缺陷為全橋桁架皆有雀斑狀銹蝕，屬於輕微廣泛缺陷，位置4缺陷為大梁與橫梁處的鉚釘遺失，如圖2.14所示，但影響部位強度，經結構檢視後，不需較頻繁監控、載重限制與/或矯正行動，屬於重大獨立缺陷，綜合評等上部結構部位狀況為重大獨立缺陷，不需較頻繁監控、載重限制與/或矯正行動，評分屬於4。



資料來源：Specifications for the National Bridge Inventory, FHWA。本計畫翻譯整理

圖 2.12 上部結構部位缺陷狀況



資料來源：Specifications for the National Bridge Inventory, FHWA

圖 2.13 桁架立柱扭曲



圖 2.14 鉚釘遺失

表2-8為河道狀況評分標準，與表2-4的橋梁部位評分標準相同，但描述內容略有不同，表2-9為河道缺陷嚴重程度的評分指引，劣化缺陷為定性描述。以下河道狀況係以單跨預力混凝土橋的檢測為例，如圖2.15與圖2.16所示，中等廣泛性的河道堆積與變遷，需定期清除以維護通水斷面容許值，河床最低處持續偏移至一側橋台，威脅該處引道，經水利檢視後，橋梁未受衝擊，故水道狀況評分屬於4。

表 2-8 水道評分標準

評分	狀況	描述
N	不適用	未跨水
9	優良	無缺陷
8	很好	僅固有缺陷
7	良好	一些輕微缺陷
6	滿足需求	廣泛分布輕微缺陷或獨立中等缺陷
5	尚可	中等缺陷；橋梁與引道未受威脅
4	劣等	廣泛分布中等缺陷或獨立重大缺陷；橋梁與/或引道受威脅
3	嚴重	重大缺陷；橋梁與/或引道嚴重受威脅，須較頻繁監控、載重限制與/或矯正行動
2	危急	重大缺陷；橋梁與/或引道極嚴重受威脅，須頻繁監控、明確載重限制與/或矯正行動，以確保橋梁開通
1	幾近失能	因河道狀況橋梁封閉，修理或修復可恢復服務
0	失能	因河道狀況橋梁封閉，無法矯正，現有位置或規劃無法與河道相容，需替換以恢復服務

資料來源：Specifications for the National Bridge Inventory, FHWA。本計畫翻譯整理

表 2-9 水道缺陷嚴重程度的評分指引

缺陷種類	輕微	中等	重大
水流走向	下部結構與水流攻擊角呈15~30度，壁式橋墩與水流攻擊角呈5~15度	下部結構與水流攻擊角呈30~45度，壁式橋墩與水流攻擊角呈15~30度	下部結構與水流攻擊角大於45度，壁式橋墩與水流攻擊角大於30度
河道變遷	河床最低處偏移基準位置，但停止威脅橋梁或引道	河床最低處持續偏移，並衝擊河堤穩定性	河床最低處持續偏移削弱引道
河床下降	容許值內	河岸剝落但橋梁未受衝擊	河岸剝落但橋梁受衝擊
河床堆積	容許值內或停止	超過容許值，通水斷面明顯受阻礙，增加溢越橋梁或河道限制的趨勢	通水斷面幾乎受阻礙，可能頻繁溢越橋梁或河道限制
碎屑	限制河道輕微或傾向堆積	大型碎屑阻礙河道，增加流速、改流或河岸侵蝕的趨勢	通水斷面幾乎受阻礙，明顯河道改向或衝擊河道容量
河岸侵蝕/不穩定	侵蝕/不穩定未衝擊橋梁或引道	明顯侵蝕/不穩定逐步導向橋梁或引道	引道穩定性受衝擊

資料來源：Specifications for the National Bridge Inventory, FHWA。本計畫翻譯整理



資料來源：Specifications for the National Bridge Inventory, FHWA

圖 2.15 橋址處河道狀況

圖 2.16 下游測河道狀況

表2.10為橋墩/橋台基礎沖刷狀況評分標準，沖刷嚴重度的評分皆為定性描述，與表2.4的橋梁部位評分標準，以及表2.8水道狀況評分標準均相同，但描述內容略有不同。河道狀況以七跨混凝土橋的檢測檢為例，如圖2.17所示，該橋已列入關鍵沖刷橋梁，橋墩為基腳型式，橋墩2沖刷高程位於基腳底部，基腳一角側並有1英尺的掏空，橋墩3根基腳有沖刷現象，橋管單位計畫進行更頻繁監測，沖刷嚴重程度屬重大等級沖刷，故該橋沖刷狀況評分屬於3。

表 2-10 沖刷評分標準

評分	狀況	描述
N	不適用	未跨水
9	優良	無沖刷
8	很好	不明顯沖刷
7	良好	一些輕微沖刷
6	滿足需求	廣泛分布輕微沖刷或獨立中等沖刷
5	尚可	中等沖刷；橋梁橋度或穩定性未受影響
4	劣等	廣泛分布中等沖刷或獨立重大沖刷；橋梁強度或/與穩定性受影響
3	嚴重	重大沖刷；橋梁強度或/與穩定性嚴重受影響，須較頻繁監控、載重限制與/或矯正行動
2	危急	重大沖刷；橋梁強度或/與穩定性嚴重受妥協，須頻繁監控、明確載重限制與/或矯正行動，以確保橋梁開通
1	幾近失能	因沖刷狀況橋梁封閉，修復可恢復服務
0	失能	因沖刷狀況橋梁封閉，無法矯正，橋梁需替換以恢復服務

資料來源：Specifications for the National Bridge Inventory, FHWA。本計畫翻譯整理



資料來源：Specifications for the National Bridge Inventory, FHWA

圖 2.17 外露橋墩基腳

美國全國橋梁清冊規範[14]列有橋梁狀況分類一項，內容僅考慮橋面板、上部結構、下部結構，以及涵洞等4個部位評分，將評分7~9給予良好（G）編碼，評分5, 6給予尚可（F）編碼，評分0~4給予劣等（P）編碼，整橋狀況分類係取上述部位評分最低分者為該座橋梁狀況的代表[14]。

## 2.1.6 橋梁狀況指標

依全國橋梁清冊規範[14]之說明，聯邦公路總署將橋梁部位狀況，以及整座橋梁狀況均分類為良好（Good）、尚可（Fair），以及劣等（Poor）三個等級。

針對橋梁狀況評級指標的合理性，聯邦公路總署的研究報告[15]考量五種不同的評分方法，其中包括四種不同加權平均方式，以及最差狀況評級方式，根據各部位狀況資料，研擬橋梁狀況指標，由州際公路系統的研究案例顯示：（1）現有全國橋梁清冊資料收集項目已足以提供橋梁性能評分之用；（2）現有聯邦公路總署的評估方式無法反映實際橋梁狀況，原因主要為服務水準評估（Appraisal Rating）的項目含項目67—結構評估（Structural Evaluation），以及項目71—水道適性（Waterway Adequacy），該兩項並為非橋梁狀況的項目，不適用於橋梁狀況的評估，建議移除該兩項於結構缺陷（Structurally Deficient）項目之外；（3）對於所有5種評估方法，被歸類為良好、尚可，以及劣等的整橋狀況，其百分比分布大略一致，變化不大；（4）其中採最差狀況評級方式，整橋狀況不佳的比例略高些；（5）採取四種加權平均方式的權重，對良好、尚可或劣等橋梁的百分比分布不甚敏感；（6）橋面板狀況本身通常並非橋梁部位狀況評等的驅動因素。

依據2017年聯邦公路總署發布的橋梁狀況評估之全國性能管理措施（National Performance Management Measures for Assessing Bridge Condition）[9]標準，聯邦公路總署係採納上述研究報告之「部位狀況評級法的最差值者」進行整橋評等分類，在橋梁部分，考慮全國橋梁清冊系統中的3個部位項目，即「橋面板」、「上部結構」以及「下部結構」的評等，包括進出口匝道部分；在涵洞部分，僅考慮全國橋梁清冊系統中的「涵洞」項目的評等，以下為該標準規定之相關指標：

- （一）針對橋梁/涵洞的評估分類方法，納入全國公路系統（National Bridge System, NHS）的橋梁/涵洞，其狀況評等分類的標準：

1. 良好：當橋梁在全國橋梁清冊系統中的 3 個項目，即橋面板、上部結構，以及下部結構中，任一項目評定最差等級為 7、8 或 9 時，則整座橋梁狀況歸類為良好等級；當涵洞在全國橋梁清冊的涵洞項目評級為 7、8 或 9 時，則涵洞狀況歸類為良好等級。
2. 尚可：當橋梁在全國橋梁清冊系統中的 3 個項目，即橋面板、上部結構，以及下部結構中，任一項目評定最差等級為 5 或 6 時，則整座橋梁狀況歸類為尚可等級；當涵洞在全國橋梁清冊的涵洞項目評分為 5 或 6 時，則涵洞狀況歸類為尚可等級。
3. 劣等：當橋梁在全國橋梁清冊系統中的 3 個項目，即橋面板、上部結構，以及下部結構中，任一項目評定最差等級為 4、3、2、1 或 0 時，則整座橋梁狀況歸類為劣等等級；當涵洞在全國橋梁清冊的涵洞項目評級為 4、3、2、1 或 0 時，則涵洞狀況歸類為劣等等級。

(二) 各州對橋梁性能目標須建立橋梁量測值，橋梁狀況歸類為良好等級與劣等等級的測量值分別如式[2-1]及式[2-2]：

$$100\% \times \frac{\sum_{g=1}^{Good} (Length \times Width)_{Bridge\ g}}{\sum_{s=1}^{Total} (Length \times Width)_{Bridge\ s}} \quad \text{式[2-1]}$$

其中 *Good* 代表列入良好狀況的總橋數，*g* 代表列入良好狀況的橋梁，*Length* 代表全國橋梁清冊之項目 49—結構長度，*Width* 代表全國橋梁清冊之項目 52—橋面板寬度或項目 32—引道寬度，*s* 代表橋梁，以及

$$100\% \times \frac{\sum_{p=1}^{Poor} (Length \times Width)_{Bridge\ p}}{\sum_{s=1}^{Total} (Length \times Width)_{Bridge\ s}} \quad \text{式[2-2]}$$

其中 *Poor* 代表列入劣等狀況的總橋數，*p* 代表列入劣等狀況的橋梁，*Length* 代表全國橋梁清冊之項目 49—結構長度，*Width* 代表全

國橋梁清冊之項目 52—橋面板寬度或項目 32—引道寬度， $s$  代表橋梁。

- (三) 各州運輸廳所維護的橋梁，其中被歸類為結構缺陷 (Structurally Deficient) 的橋梁，根據其橋面板面積不超過所有橋梁橋面板面積的 10%，計算式如式[2-3]：

$$100\% \times \frac{\sum_{SD=1}^{Structurally\ Deficient} (Length \times Width)_{Bridge\ SD}}{\sum_{s=1}^{Total} (Length \times Width)_{Bridges}} \quad \text{式[2-3]}$$

其中 *Structurally Deficient* 代表列入結構缺陷的總橋數，*SD* 代表列入結構缺陷的橋梁，*Length* 代表全國橋梁清冊之項目 49—結構長度，*Width* 代表全國橋梁清冊之項目 52—橋面板寬度或項目 32—引道寬度， $s$  代表橋梁；而所謂結構缺陷的橋梁僅考慮全國橋梁清冊系統中的 4 個項目，即橋面板、上部結構、下部結構，以及涵洞，其中任一部位評級低於 4 者。

- (四) 罰則：按前項結構缺陷橋梁的計算公式，在連續 3 年內，該州運輸廳轄屬的全國公路系統的橋梁/涵洞，被歸類為結構缺陷的橋梁，具結構缺陷橋梁的橋面板總面積占所有橋梁的橋面板總面積，倘若未能達成低於 10% 的要求，則該州須義務性 (強制性) 保留聯邦所撥發性能計畫資金中的 50% 比例，用以改善既有橋梁狀況，直至符合上述要求，方能解除撥款資金運用的限制。

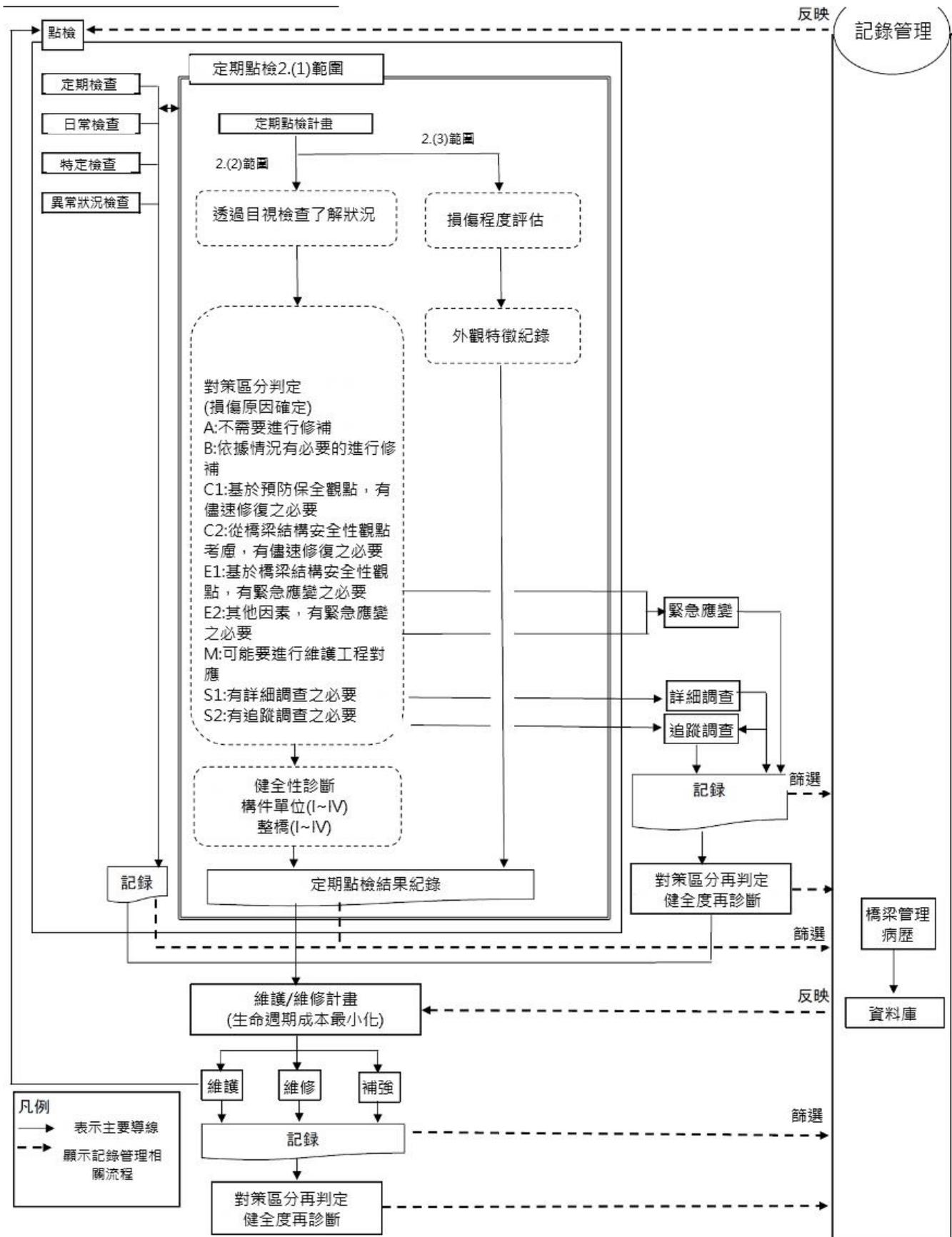
## 2.2 日本橋梁檢測及橋況評估

### 2.2.1 日本橋梁檢測方式

日本國土交通省道路局於 2019 年 2 月頒布的「道路橋定期檢驗要領」[16]，適用於日本道路法第 2 條第 1 項所規定的道路中橋長 2m 以上、高架道路等的道路橋，規定以五年一次的頻率實施，主要以近距離目視檢測為主，但必要時可配合觸檢或打音法等非破壞性的檢測方法。

由於「道路橋定期檢驗要領」只提及簡略的定期檢驗內容及概念，許多細節部分需參考由國土交通省道路局國道技術課於 2019 年 3 月頒布的「橋梁定期檢驗要領」[17]。為了掌握並診斷道路橋各構件的狀態，以確保道路橋的運行、交通安全等，此要領訂定詳細的定期檢驗流程，包含檢驗計畫、實施檢驗、掌握損傷狀況、判定對策及健全性診斷等，並針對五年一次的檢驗頻率作詳細的規定及說明。一般來說，為了能早期發現設計上缺失或施工品質不良等造成的初期損傷，建議橋梁使用後的兩年內執行第一次定期檢驗，第二次以後只需要以五年一次的頻率實施檢驗即可，但由於不同橋梁有不同的環境條件、使用年限、結構形式、交通流量等等，可因其損傷狀況及檢驗結果適當的調整縮短五年的間隔。定期檢驗的實施包含「損傷狀況的掌握」、「對策區分的判定」及「健全性的診斷」，三大步驟評估。如圖 2.18 所示，表 2-11 中則列出所有橋梁部位及構件。

損傷程度的評估應以每個部位或構件可分割至最小的單位作為評估單位，評估各構件是否有表 2-12 中所列之損傷，所有的損傷項目會根據損傷的程度及範圍大小以 a~e 區分（a 為沒有損傷、e 為最嚴重損傷，詳細的判斷方式皆列在「橋梁定期檢驗要領」損傷評估基準表中），並拍攝照片或手繪紀錄。



資料來源：橋梁定期點檢要領，国土交通省道路局。本計畫翻譯整理

圖 2.18 日本國土交通省定期檢驗流程

表 2-11 日本國土交通省檢驗構件項目

部位、構件區分					
上部結構	主梁*		下部結構*	橋墩	墩身
	主梁懸臂處*				梁處
	橫梁*				角落處
	縱梁*			橋台	胸牆
	橋面板				橋台正面
	斜對構				翼牆
	橫向構件	上方橫向構件		基礎	其他
		下方橫向構件			
	主結構桁架	上、下弦材*		支承處	支承本體
		斜撐、垂直構件			錨栓
		橋門結構			防止落橋系統
		節點*			砂漿支承座
		斜撐、垂直構件混凝土埋入處*			混凝土台座
	拱橋	拱肋*		路上	其他
		加勁材*			欄杆
		吊材			防護柵欄
		支柱			緣石（欄杆下面）
		橋門結構			中央分隔島
		節點			伸縮裝置 （包含後打混凝土）
		吊材等的混凝土埋入處			隔音設施 照明設施 標誌設施
剛架橋	主結構（梁）		路上	緣石	
	主結構（墩）			鋪裝（包含橋台背面處）	
斜張橋	斜撐		排水設施	排水溝	
	塔柱*			排水管	
	塔部水平構件			其他	
	塔部斜撐		檢驗設施		
纜線		架設架構物			
PC 固定處*		翼牆			
其他					

註 1：標記\*的部位或構件在對策區分判定時，以個數為評估單位（如：個、根、座、台等）

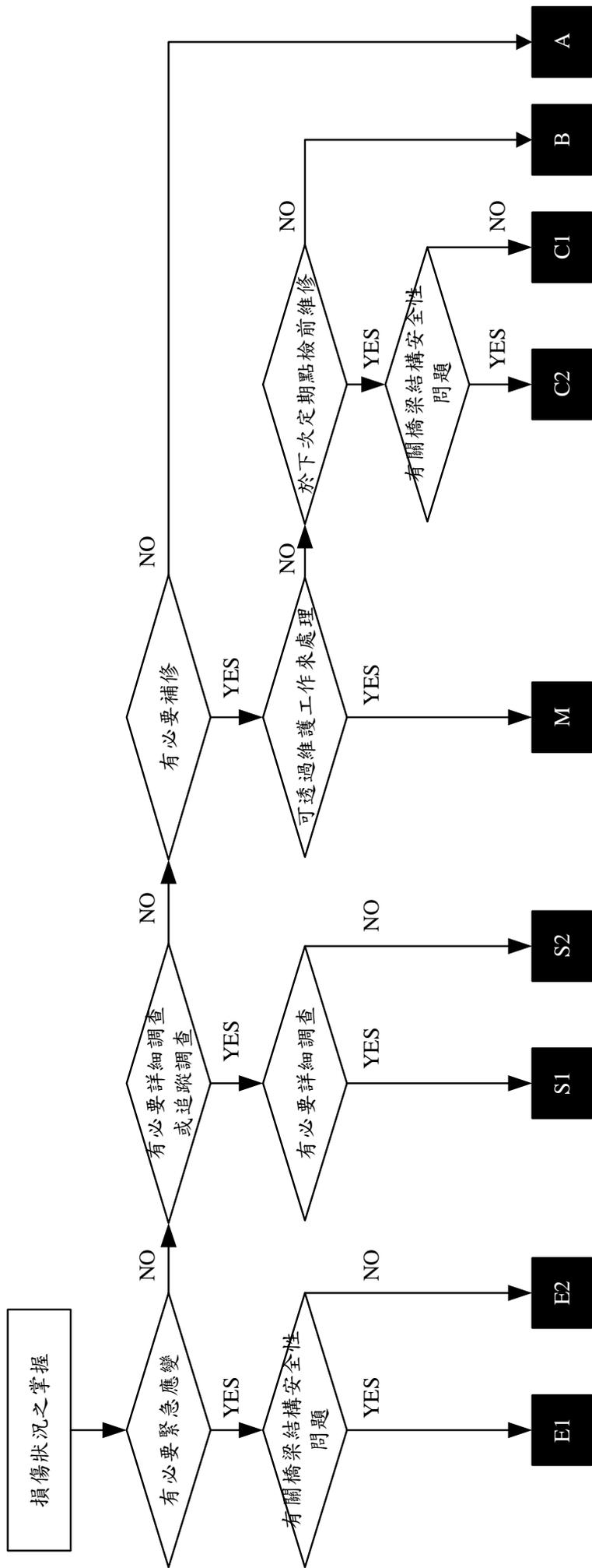
註 2：其他未標記的部位或構件，如：橋面板、斜對構等，在對策區分判定中以跨度為評估單位

表 2-12 日本國土交通省損傷狀況之評估項目

損傷狀況之評估項目	
鋼構件的損傷	腐蝕
	龜裂
	(螺栓)鬆脫、脫落
	斷裂
	防蝕機能的老化
混凝土構件的損傷	裂縫
	剝離、鋼筋露出
	剝落
	橋面板裂縫
	浮起
其他的損傷	間隔異常
	路面的凹凸不平
	鋪面的異常
	支承處的機能故障
	其他
共同的損傷	補修、補強材料的損傷
	固定處的異常
	變色、老化
	漏水、積水
	異常聲音、振動
	異常撓曲
	變形、缺損
	土砂堆積
	下沉、移動、傾斜
	沖刷

根據損傷的狀況，以圖 2.19 所示的基本流程判定對策區分，並以個數或跨度作為評估單位。最後，在執行國土交通省「道路橋定期檢驗要領」訂定的健全性診斷，或是直接參考對策區分判定結果評估健全性診斷，其評估標準如下：

- 「 I 」健全階段：A、B
- 「 II 」預防性維護階段：C1、M
- 「 III 」早期處置階段：C2
- 「 IV 」緊急處置階段：E1、E2



資料來源：橋梁定期點檢要領，國土交通省道路局。本計畫翻譯整理

圖 2.19 對策區分判定的基本流程

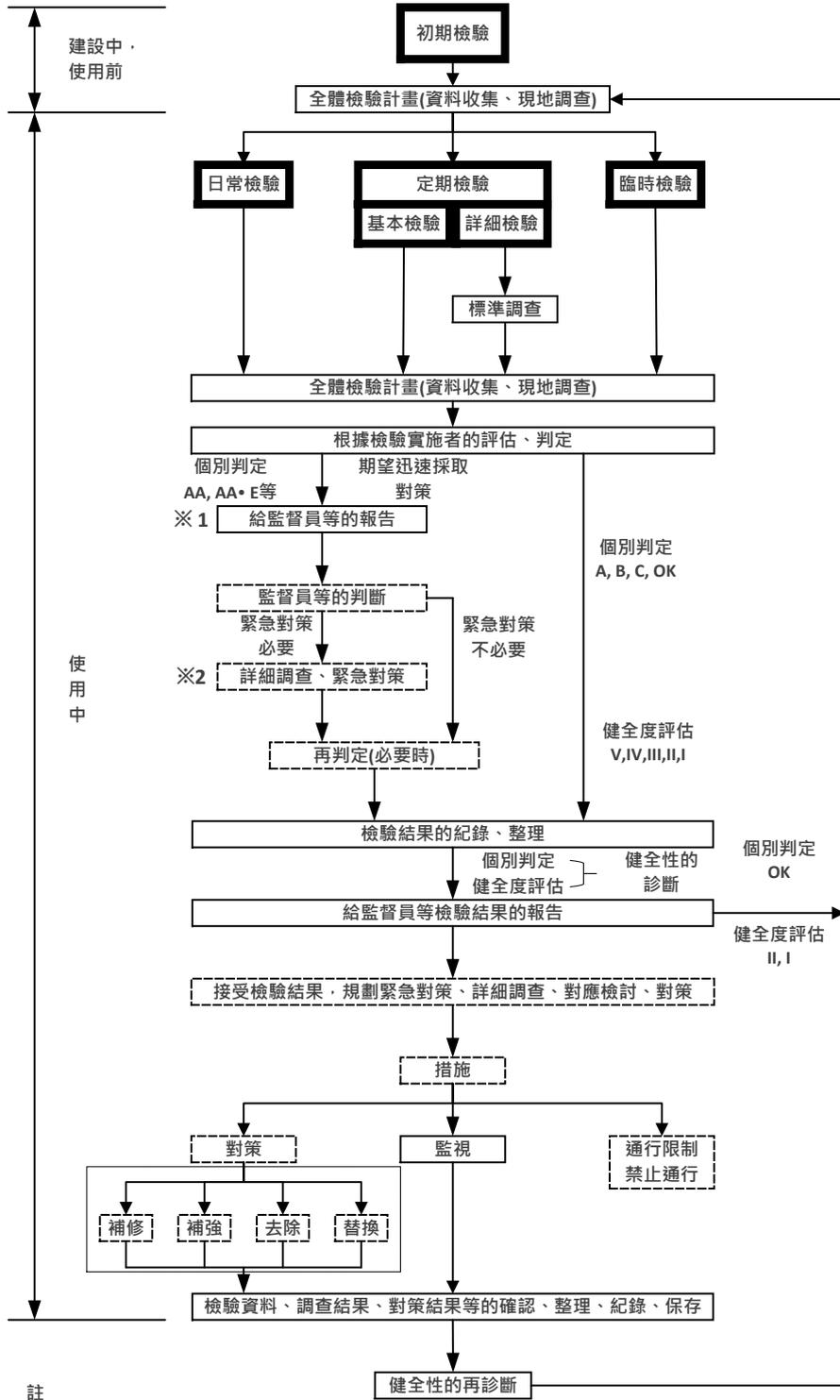
此外，檢測方式亦可參考日本高速道路綜合技術研究所（NEXCO 總研）2015 年出版的「保全點檢要領 構造物篇」[18]，日本高速道路綜合技術研究所是由日本民營的東日本高速道路株式會社、中日本高速道路株式會社及西日本高速道路株式會社三家民營高速公路公司（合稱 Nippon EXpressway COmpany Limited,NEXCO）共同出資建立的研究單位，而這三間公司的前身就是日本道路公團。

「保全點檢要領 構造物篇」針對該三間公司管轄下的所有道路結構物建立檢驗要領，目的是為了在遵守道路法規規定的情況下，確切掌握、評估結構物的狀況，必要時實施適當措施，以便保持交通安全、防止第三人被害以及長期維持道路結構物的良好狀態。因此，本要領訂定完整的檢驗體系，在不同時間階段配合各種檢驗方法實施不同類型的檢驗，各類型檢驗的目的、適用方法及頻率如表 2-13 所示，且各檢驗應遵照圖 2.20 的檢驗對策流程圖執行。

表 2-13 日本高速道路綜合技術研究所檢驗種類概要

檢驗種類		檢驗主要目的		檢驗方法	檢驗頻率
初期檢驗 (土工結構物)		掌握初期狀況		近距目視或遠距目視，必要時併用觸檢或打音等非破壞型檢查檢驗	開始使用前、結構變更時
初期檢驗 (土工結構物以外)		掌握初期狀況、防止第三人被害		近距目視與觸檢或打音，必要時併用非破壞型檢查檢驗	開始使用前、結構變更時
		掌握初期狀況、健全性、維護		近距目視或遠距目視，必要時併用觸檢或打音等非破壞型檢查檢驗	開始使用前、結構變更時
日常檢驗		日常安全之確認		適當結合車上目視、車上感覺、遠距目視等方法實施檢驗，必要時下車確認	依交通量設定： 4 日以上/2 週 5 日以上/2 週 6 日以上/2 週 7 日以上/2 週
定期檢驗	基本檢驗	掌握安全性、範圍內整體現狀		近距目視或遠距目視	1 次以上/年
	詳細檢驗	防止第三人被害		基本原則以近距目視與觸檢或打音檢眼	1 次以上/5 年
		健全性的掌握、維持等	個別判定	近距目視為基本原則，必要時併用觸檢或打音等非破壞型檢查檢驗	1 次以上/5 年
		健全性評估			
臨時檢驗	特別檢驗	其他檢驗之補全、類似結構物之掌握		利用遠距目視、近距目視、觸檢、打音之適當組合實行檢驗，必要時併用非破壞型檢查檢驗	必要時
	緊急檢驗	防災相關準則等參考		利用遠距目視、近距目視、觸檢、打音之適當組合實行檢驗，必要時併用非破壞型檢查檢驗	必要時

資料來源：保全点檢要領 構造物編，高速道路綜合技術研究所。本計畫翻譯整理



註

**▭** **▭** : 表示檢驗業務的內容

AA, A, B, C, OK, E : 參照本要領「檢驗結果的判定」

**▭** : 表示檢驗業務不包含的內容

※1在日檢緊急的情況下，可以省略的步驟

※2調查是檢驗無法評估的情況下，實施為定量的解析評估變形的狀況而實施。

資料來源：保全点檢要領 構造物編，高速道路綜合技術研究所。本計畫翻譯整理

圖 2.20 檢驗與對策的流程圖

## 2.2.2 日本橋況評估指標

國土交通省規定各個橋梁必須執行定期檢驗，並根據檢驗結果判斷橋梁各構件及整座道路橋的健全性診斷作為橋況評估指標，檢測時應以道路使用者及預防第三者受害的角度，判定各構件的健全性及對應措施，如表 2-14。先以構件為單位，判斷各構件的健全性診斷，至少要包括上部結構（主梁、橫梁、橋面板）、下部結構、支承及其他，接著再判斷整座橋梁的健全性診斷，一般而言，以影響結構安全之主要構件中最嚴重者，代表橋梁之健全性，也就是說以橋梁之主要構件中狀況最差的作為代表整體橋梁健全性。日本橋況評估定期檢測結果紀錄如圖 2.21。

表 2-14 日本國土交通省健全性診斷的判定區分及處理措施

區分		定義	處理措施
I	健全	未發生造成結構物功能障礙的狀態	不需要進行監控或採取對策的狀態
II	預防維修階段	雖未發生造成結構物功能障礙的狀態，但由預防維修的觀點來看希望加以處理	依據狀況，建議進行監控或採取對策的狀態
III	早期處理階段	有可能已發生造成結構物功能障礙的問題，應採取早期處理措施	有必要及早進行監控或採取對策的狀態
IV	緊急處理階段	已經發生造成結構物工程障礙的問題，或者是極有可能發生，須立即採取緊急處理措施	有必要採取緊急對策的狀態

橋梁名・所在地・管理者名等

橋梁名 〇〇橋 (フリガナ)マルマルバシ	路線名 県道〇〇	所在地 〇〇県△△市□□地先	起点側	緯度 〇° x' △"	橋梁ID
管理者名 〇〇県〇〇振興局〇〇土木事務所	定期点検実施年月日 2013.5.〇	路下条件 市道	代替路の有無 有	自専道or一般道 一般道	緊急輸送道路 二次
占用物件(名称) 水道管					

部材単位の診断(各部材毎に最も厳しい健全性の診断結果を記入) 定期点検者 (株)〇〇 △△ □□

部材名		判定区分 (I~IV)	変状の種類 (II以上の場合に記載)	備考(写真番号、位置等が分かるように記載)	応急措置後の判定区分	応急措置内容	応急措置及び判定実施年月日
上部構造	主桁	II	腐食	写真1、主桁02	I		2013.5.〇
	横桁	II	腐食	写真1、横桁02	I		2013.5.〇
	床版	III	ひびわれ	写真2、床版01	II		2013.5.〇
下部構造		I					
支承部		I					
その他							

道路橋毎の健全性の診断(判定区分I~IV)

定期点検時に記録 (判定区分)	(所見等) III (適切に記載する)
--------------------	------------------------

全景写真(起点側、終点側を記載すること)

架設年次	橋長	幅員
1984年	107m	11.8m
橋梁形式 〇径間連続橋脚〇桁橋、〇式橋台2基、〇式橋脚2基		



※架設年次が不明の場合は「不明」と記入する。

状況写真(損傷状況)

〇部材単位の判定区分がII、III又はIVの場合には、直接関連する不具合の写真に記載のこと。

〇写真は、不具合の程度が分かるように添付すること。

写真1  主桁02、横桁02	写真2  床版01
支承部【判定区分: 】	下部構造【判定区分: 】

資料來源：橋梁定期点検要領，国土交通省道路局

圖 2.21 日本橋況評估定期檢測結果紀錄

## 2.3 南非橋梁檢測及橋況評估指標

### 2.3.1 南非橋梁檢測方式

南非主要由南非國家道路局（South Africa National Roads Agency Limited, SANRAL）管理國道的橋梁、省政府交通部門管理省道的橋梁及市政府交通部門管理市道的橋梁[19]。其維護實施包含五種檢測，監測、基本檢測、認證檢測、計畫檢測及驗收檢測，如表 2-15 所示。

表 2-15 南非的橋梁檢測種類

檢測	說明	頻率	執行單位
監測	快速檢測新的損傷或原損傷的最新狀態。監測不需要執行任何評估	每年至少 1 次	維修人員
基本檢測	橋梁所有損傷的完整檢測和記錄	5 年	有橋梁或維修相關經驗的檢測人員
認證檢測	由 SANRAL 每年執行檢測的認證，一般以 QA 成果認證數據的準確性	每年 60 座橋梁	資深橋梁檢測人員
計畫檢測	為了合約文件收集資料的檢測	維修計畫前	顧問公司的資深橋梁工程師
驗收檢測	合約完成後的檢測工作	維修計畫後	顧問公司的資深橋梁工程師

南非國家道路局於 2020 年出版「TMH19 道路結構物目視評估手冊(草案)」[20]，該手冊說明南非採取的橋梁評估系統是 DER&U 目視檢測法，可評估劣化程度 (Degree)、劣化範圍 (Extent)、重要性 (Relevancy) 及維修急迫性 (Urgency)，如表 2-16。DER&U 各指標以 X (無此項目)、U (無法檢測)、R、0 (無可目視劣化)~4 (嚴重劣化) 八類等級作為評分標準，如表 2-17。因此，此指標亦快速幫助評估劣化的嚴重性、對結構物的影響及使用者的安全性，檢測結果亦紀錄於相關檢測表，如圖 2.22。

表 2-16 DER&U 目視檢測法

指標	描述	
D	劣化程度	劣化的嚴重程度
E	劣化範圍	橋梁結構劣化的範圍
R	重要性	劣化對整體結構的影響
U	急迫性	建議的維修年限

表 2-17 DER&U 各指標評等標準

評等	程度 (D)	範圍 (E)	重要性 (R)		急迫性 (U)	備註
X	無此項目	--	--		--	
U	無法檢測	--	--		--	
0	無可目視劣化	--	--		僅監測	用於可預見之劣化，但不會進行維修工作，需註明監測頻率（例如，12、24 或 36 個月）
R	N/A	N/A	N/A		僅記錄	不需進行維修。D=1 或 2，及 R=1
1	小	局部	微	無結構完整性或安全問題	例行維護	用於道路管理局確定屬例行性維修
2	中	>局部	小	結構完整性或安全可能受影響	10 年內	在 5 年的檢查週期中，只需要在下一次檢測後進行維修
3	警戒	<整體	中	結構完整性或安全已受影響	5 年內	應該在下次檢測前維修
4	嚴重	整體	嚴重	可能對結構完整性和（或）使用者安全產生嚴重影響	盡快	需盡快維修



### 2.3.2 南非橋況評估指標

南非國家道路局 2013 年出版的「TMH 22 道路資產管理手冊(草案)」[21]說明橋況評估指標由三種類型計算組合而成，即為檢測構件狀況指標 (Inspection item condition index)、檢測項目狀況指標 (Inspection sub-item condition index)、橋梁狀況指標 (Average Structure Condition Index, ASCI)。

檢測構件狀況指標 (Inspection item condition index) 表示結構的整體狀況，並依據橋梁構件劣化嚴重程度進行計算，如式[2-4]。

$$Ic_{ij} = 100 - \frac{100(D+E)}{b_c} \quad \text{式[2-4]}$$

其中：

D=第*i*項檢查子項*j*的劣化程度等級評定

E=第*i*項檢查子項*j*的範圍等級

$$b_c = D_{\max} (\text{劣化等級最大值}) + E_{\max} (\text{劣化範圍最大值}) = 4 + 4 = 8$$

下一步是計算檢測項目狀況指標 (Inspection sub-item condition index)  $Ic_i$ ，為檢查狀況指標加權平均值，如式[2-5]。

$$Ic_i = \frac{\sum_{j=1}^n Ic_{ij}}{n} \quad \text{式[2-5]}$$

其中： $n$ =檢查專案*i*中相關檢查子項的數量

橋梁狀況指標 (ASCI) 指標數值範圍從 0 (最差條件) 到 100 (最佳條件)，計算結果如式[2-6]。

$$ASCI = \frac{\sum_{i=1}^N (Ic_i \times wc_i)}{\sum_{i=1}^N wc_i} \quad \text{式[2-6]}$$

其中：

$wc_i$ =檢查*i*狀況指標加權，加權指標如表 2-18。

$N$ =檢查項目數

表 2-18 橋梁狀況指標 (ASCI) 構件加權指標

編號	檢查項目	權重	編號	檢查項目	權重
1	引道路堤	2	12	橋墩基礎保護措施	1
2	引道護欄	1	13	橋墩基礎	4
3	河道	1	14	橋墩墩體/帽梁	5
4	引道護坡	2	15	支承/支承墊	3
5	橋台基礎	4	16	防落設施	1
6	橋台	4	17	伸縮縫	1
7	翼牆/擋土牆	3	18	主梁	5
8	摩擦層	1	19	橫隔梁	5
9	橋梁排水設施	1	20	橋面板	5
10	緣石及人行道	1	21	其他	1
11	橋護欄	3			

資料來源：TMH22 Road Asset Management Manual, COTO。本計畫翻譯整理

南非國家道路局 2013 年出版的「TMH 22 道路資產管理手冊(草案)」亦說明整體橋況評估指標共分為 5 類，包含 Very Good、Good、Fair、Poor 及 Very Poor，並依所計算橋梁狀況指標 (ASCI) 數值進行範圍判斷，以作為整橋評估衡量標準，整橋評估指標狀態定義及判定方式如表 2-19。

表 2-19 整橋評估指標狀態定義及判定方式

分類	評估指標	狀態定義	ASCI 分數範圍
1	Very Good	狀況如新	85~100
2	Good	狀況良好，僅需日常維護	70~<85
3	Fair	有明顯劣化，採取預防性維護為佳	50~<70
4	Poor	需更換或修復以提高其結構完整性	30~<50
5	Very Poor	有立即的結構危險，需更新或升級	0~<30

## 2.4 中國大陸橋梁檢測及橋況評估指標

### 2.4.1 中國大陸橋梁檢測方式

中國大陸橋梁目視評估標準係採中國大陸交通運輸部 2011 頒布之「公路橋梁技術狀況評定標準」[22]，該標準首先評定橋梁各構件（Bridge member）狀況，再針對橋梁各部件（Bridge component）狀況進行評定，進而對橋面結構（包含鋪面、伸縮縫、人行道、欄杆、照明、排水系統等）、上部結構和下部結構狀況進行評定，最終綜合評定橋梁總體技術狀況。

橋梁總體技術狀況評定分為 5 個等級，從 1 類至 5 類，分別代表構件狀況完好至嚴重缺損如表 2-20；針對橋梁主要部件，其技術狀況評定分為 5 個等級，從 1 類至 5 類，分別代表部件材料與功能完好至嚴重缺損，如表 2-21 所示；針對橋梁次要部件，其技術狀況評定分為 4 個等級，從 1 類至 4 類，分別代表次要部件材料與功能完好至嚴重缺損如表 2-22。

主要評定工作流程係依據擬定的橋梁檢查計畫進行現場調查，對各構件檢測指標之技術狀況進行評定（1~5 類），除符合表 2-23 所述第 5 類單項控制指標狀況，可直接判定該構件的等級之外，其他則需依據橋梁各構件之技術狀況，依次計算橋梁各部件及各結構（上部結構、下部結構及橋面系）之技術情況評分（SPCI、SBCI 及 BDCI），最終計算出橋梁總體技術情況評分（ $D_r$ ），作為整體橋梁狀況判定之指標，並評定對應等級，等級區分為 5 類如表 2-24。 $D_r$  計算方式詳 2.4.2 節。

針對各種類橋梁之各構件劣化，「公路橋梁技術狀況評定標準」均有提供定性評定標準，部份劣化除定性描述標準，亦提供定量量測判定的標準，簡支梁（板）橋、剛架橋之裂縫係分為 1 類至 5 類，分別代表完好至各式裂縫類型如表 2-25；瀝青混凝土鋪面狀況係分為 1 類至 4 類，分別代表完好至各式劣化類型如表 2-26。

表 2-20 中國大陸橋梁結構與全橋技術狀況評定等級

技術狀況 評定等級	橋梁技術狀況描述
1 類	全新狀態，功能完好
2 類	有輕微缺損，對橋梁使用功能無影響
3 類	有中等缺損，尚能維持正常使用功能
4 類	主要構件有大的缺損，嚴重影響橋梁使用功能；或影響承載力，不能保證正常使用
5 類	主要構件存在嚴重缺損，不能正常使用，危及橋梁安全，橋梁處於危險狀態

資料來源：公路橋梁技術狀況評定標準(JTG/T H21-2011)，中國大陸交通運輸部

表 2-21 中國大陸橋梁主要部件技術狀況評定等級

技術狀況 評定等級	橋梁技術狀況描述
1 類	全新狀態，功能完好
2 類	功能良好，材料有局部輕度缺損或污染
3 類	材料有中等缺損，或出現輕度功能性病害，但發展緩慢，尚能維持正常使用功能
4 類	材料有嚴重缺損，或出現中等功能性病害，且發展較快；結構變形小於或等於規範值，功能明顯降低
5 類	材料有嚴重缺損，出現嚴重的功能性病害，且有持續擴展現象；關鍵部位的部份材料強度達到極限，變形大於規範值，結構的強度、剛度、穩定性不能達到安全通行的要求

資料來源：公路橋梁技術狀況評定標準(JTG/T H21-2011)，中國大陸交通運輸部

表 2-22 中國大陸橋梁次要部件技術狀況評定等級

技術狀況 評定等級	橋梁技術狀況描述
1 類	全新狀態，功能完好；或功能良好，材料有輕度缺損、污染等
2 類	有中等缺損或污染
3 類	材料有嚴重缺損，出現功能降低，進一步惡化將不利於主要部件，影響正常交通
4 類	材料有嚴重缺損，失去應有功能，嚴重影響正常交通；或原無設置，而調查需要補設

資料來源：公路橋梁技術狀況評定標準(JTG/T H21-2011)，中國大陸交通運輸部

表 2-23 等級 5 類橋梁單項控制指標表

項次	單項控制指標
1	上部結構有落梁；或有梁，板斷裂現象
2	梁式橋上部承重構件控制截面出現全截面開裂；或組合結構上部承重構件結合面開裂貫通，造成截面組合作用嚴重降低
3	梁式橋上部承重構件有嚴重的異常位移，存在失穩現象
4	結構出現明顯的永久變形，變形大於規範值
5	關鍵部位混凝土出現壓碎或桿件失穩傾向；或橋面板出現嚴重塌陷
6	拱式橋拱腳嚴重錯台、位移，造成拱頂撓度大於限值；或拱圈嚴重變形
7	汙工拱橋拱圈大範圍砌體斷裂，脫落現象嚴重
8	腹拱、側牆、立牆或立柱產生破壞造成橋面板嚴重塌落
9	繫桿或吊桿出現嚴重鏽蝕或斷裂現象
10	懸索橋主纜或多根吊索出現嚴重鏽蝕、斷絲
11	斜拉橋拉索鋼絲出現嚴重鏽蝕、斷絲，主梁出現嚴重變形
12	擴大基礎沖刷深度大於設計值，中空面積達 20%以上
13	橋墩（橋台或基礎）不穩定，出現嚴重滑動、下沉、位移、傾斜等現象
14	懸索橋、斜拉橋索塔基礎出現嚴重沉降或位移；或懸索橋錨碇有水平位移或沉降

資料來源：公路橋梁技術狀況評定標準(JTG/T H21-2011)，中國大陸交通運輸部

表 2-24 橋梁技術狀況分類界限表

技術狀況等級 技術狀況評分	1 類	2 類	3 類	4 類	5 類
$D_r$ (SPCI、SBCI、BDCI)	[95,100]	[80,95)	[60,80)	[40,60)	[0,40)
備註 [ 代表該等級大於或等於對應的數值 ) 代表該等級小於對應的數值					

資料來源：公路橋梁技術狀況評定標準(JTG/T H21-2011)，中國大陸交通運輸部

表 2-25 簡支梁（板）橋、剛架橋裂縫

標度	評定標準	
	定性描述	定量描述
1	完好	--
2	局部出現網狀裂縫，或主梁出現少量輕微裂縫，縫寬未超限	網狀裂縫累積面積 $\leq$ 構件面積的 20%，單處面積 $\leq 1.0 m^2$ ，或主梁裂縫縫長 $\leq$ 截面積尺寸的 1/3
3	出現大面積網狀裂縫，或主梁出現較多橫向裂縫（鋼筋混凝土梁、板），或順主筋方向出現縱向裂縫，或出現斜裂縫、水平裂縫、豎向裂縫等，縫寬未超過	網狀裂縫累積面積 $>$ 構件面積的 20%，單處面積 $> 1.0 m^2$ ，或主梁裂縫縫長 $>$ 截面積的 1/3 且 $\leq$ 截面尺寸的 2/3
4	主梁控制截面出現較多橫向裂縫（鋼筋混凝土梁、板），或順主筋方向出現嚴重縱向裂縫並伴有鋼筋銹蝕等，或出現斜裂縫、水平裂縫、豎向裂縫等，裂縫縫寬超限	主梁裂縫縫長 $>$ 截面尺寸的 2/3，間距 $< 20 cm$
5	主梁控制截面出現大量結構性裂縫，裂縫大多貫通，且縫寬超限，主梁出現變形	主梁裂縫縫寬 $> 1.0 mm$ ，間距 $\leq 10 cm$

資料來源：公路橋梁技術狀況評定標準(JTG/T H21-2011)，中國大陸交通運輸部

表 2-26 瀝青混凝土橋面鋪裝破損

標度	評定標準	
	定性描述	定量描述
1	完好	--
2	面層局部鬆散、露骨	鬆散、露骨累積面積 $\leq 10\%$
	或局部淺坑槽	坑槽深度 $\leq 25 mm$ ，累積面積 $\leq 3\%$ ，單處面積 $< 0.5 m^2$
3	多處鬆散、露骨	鬆散、露骨累積面積 $> 10\%$ 且 $\leq 20\%$
	或多處出現坑槽	坑槽深度 $\leq 25 mm$ ，累積面積 $> 3\%$ 且 $\leq 10\%$ ，單處面積 $> 0.5 m^2$ 且 $< 1.0 m^2$
4	大部分鬆散、露骨	鬆散、露骨累積面積 $> 20\%$
	大部份有坑槽	坑槽深度 $> 25 mm$ ，累積面積 $> 10\%$ ，單處面積 $> 1.0 m^2$

資料來源：公路橋梁技術狀況評定標準(JTG/T H21-2011)，中國大陸交通運輸部

#### 2.4.2 中國大陸橋況評估指標

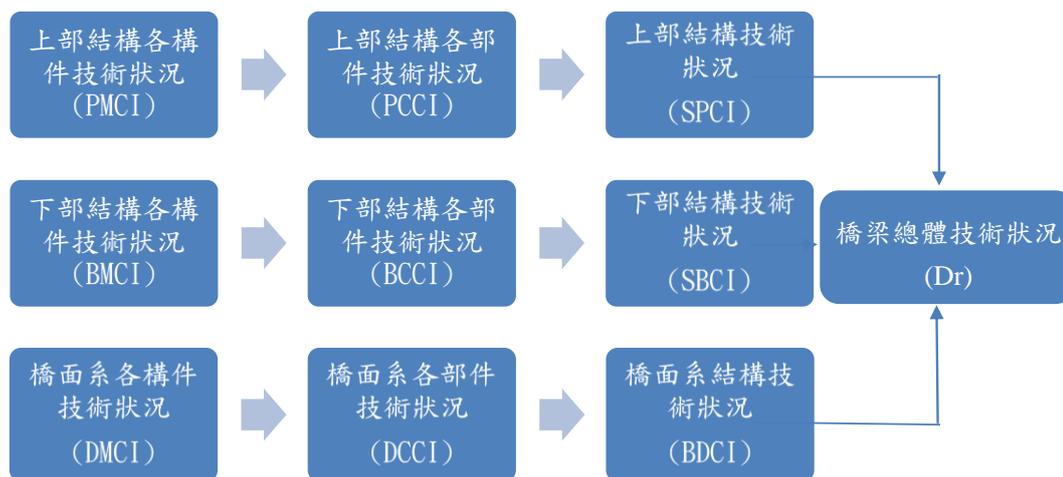
中國大陸橋梁目視評估準則依 2011 頒布「公路橋梁技術狀況評定標準」，整體橋梁組成單元由小至大依序排列為：構件、部件、結構、全橋，其中部件再區分為主要部件如表 2-27，以及次要部件（即主要部件除外之

部件)，結構則區分為上部結構、下部結構及橋面系。在狀況評定等級工作流程中，若橋梁符合表 2-23 內任何 1 項之 5 類單項控制指標，即可直接評定為 5 類，否則需按技術評定指標流程計算  $D_r$  值如圖 2.23，並依表 2-24 評定狀況等級。

表 2-27 各結構類型橋梁主要部件表

序號	結構類型	主要部件
1	梁式橋	上部承重構件、橋墩、橋台、基礎、支座
2	板拱橋（汙工、混凝土）、肋拱橋、箱形拱橋、雙曲拱橋	主拱圈、拱上結構、橋面板、橋墩、橋台、基礎
3	剛架拱橋、桁架拱橋	剛架（桁架）拱片、橫向聯結系、橋面板、橋墩、橋台、基礎
4	鋼-混凝土組合拱橋	拱肋、橫向聯結系、立柱、吊桿、繫桿、行車道板（梁）、支座
5	懸索橋	主纜、吊索、加勁梁、索塔、錨碇、橋墩、橋台、基礎、支座
6	斜拉橋	斜拉索（包括錨具）、主梁、索塔、橋墩、橋台、基礎、支座

資料來源：公路橋梁技術狀況評定標準(JTG/T H21-2011)，中國大陸交通運輸部



資料來源：公路橋梁技術狀況評定標準(JTG/T H21-2011)，中國大陸交通運輸部

圖 2.23 橋梁技術評定指標流程

有關橋梁技術評定指標之計算方式分述如下：

1. 橋梁構件技術狀況評分：

$$PMCI_l(BMCI_l, DMCI_l) = 100 - \sum_{x=1}^k U_x \geq 0 \quad \text{式[2-7]}$$

$$x = 1, U_1 = DP_{i1} \quad \text{式[2-8]}$$

$$x \geq 2, U_x = \frac{DP_{ij}}{100 \times \sqrt{x}} \times (100 - \sum_{y=1}^{x-1} U_y), j = x \quad \text{式[2-9]}$$

$PMCI_l(BMCI_l, DMCI_l)$ ：上部結構（下部結構，橋面系）第  $i$  類部件 1 構件之得分；

$k$ ：第  $i$  類部件 1 構件出現扣分的指標之種類數；

$i$ ：部件類別；

$j$ ：第  $i$  類部件 1 構件的第  $j$  類檢測指標；

$DP_{ij}$ ：第  $i$  類部件 1 構件的第  $j$  類檢測指標的扣分值，扣分值如表 2-28 所示。

表 2-28 構件各檢測指標扣分值表

檢測指標所能達到的 最高等級類別	指標類別				
	1 類	2 類	3 類	4 類	5 類
3 類	0	20	35	--	--
4 類	0	25	40	50	--
5 類	0	35	45	60	100

橋梁部件技術狀況評分：

$$PCCI_i = \overline{PMCI} - (100 - PMCI_{min}) / t \geq 0 \quad \text{式[2-10]}$$

$$BCCI_i = \overline{BMCI} - (100 - BMCI_{min}) / t \geq 0 \quad \text{式[2-11]}$$

$$CCI_i = \overline{DMCI} - (100 - DMCI_{min}) / t \geq 0 \quad \text{式[2-12]}$$

$PCCI_i$ ：上部結構第  $i$  類部件之得分。當上部結構中的主要部件某一構件評分值  $PMCI_l$  在  $[0,60)$  區間時，其相應的部件評分值  $PCCI_i = PMCI_l$ ；

$\overline{PMCI}$ ：上部結構第  $i$  類部件各構件之得分平均值；

$BCCI_i$ ：下部結構第  $i$  類部件之得分。當下部結構中的主要部件某一構件評分值  $BMCI_l$  在  $[0,60)$  區間時，其相應的部件評分值  $BCCI_i = BMCI_l$ ；

$\overline{BMCI}$ ：下部結構第  $i$  類部件各構件之得分平均值；

$DCCI_i$ ：橋面系第  $i$  類部件之得分；

$\overline{DMCI}$ ：橋面系第  $i$  類部件各構件之得分平均值；

$PMCI_{min}(BMCI_{min}, DMCI_{min})$ ：上部結構（下部結構，橋面系）第  $i$  類部件中分值最低的構件得分值；

$t$ ：隨構件數量變動之變數，如表 2-29 所示。

橋梁上部結構、下部結構及橋面系技術狀況評分：

$$SPCI \text{ (SBCI 或 BDCI)} = \sum_{i=1}^m PCCI_i \text{ (BCCI}_i \text{ 或 } DCCI_i) \times W_i \geq 0 \quad \text{式[2-13]}$$

$SPCI$ ：橋梁上部結構技術狀況評分；

$SBCI$ ：橋梁下部結構技術狀況評分；

$BDCI$ ：橋梁橋面系技術狀況評分；

$m$ ：上部結構（下部結構或橋面系）的部件種類數；

$W_i$ ：第  $i$  類部件的權重。以梁式橋為例，如表 2-30 所示。對於橋梁中未設置部件，應根據此部件的隸屬關係，將權重值分配給各既有部件，分配原則按照各既有部件權重在全部既有部件權重中所佔比例進行分配。

橋梁總體的技術狀況評分：

$$D_r = BDCI \times W_D + SPCI \times W_{SP} + SBCI \times W_{SB} \geq 0 \quad \text{式[2-14]}$$

$D_r$ ：橋梁總體技術狀況評分；

$W_D$ ：橋面系在全橋中的權重；

$W_{SP}$ ：上部結構在全橋中的權重；

$W_{SB}$ ：下部結構在全橋中的權重，

以上各權重值詳見表 2-31 所示。

當上部結構和下部結構技術狀況等級為 3 類、橋面系技術狀況等級為 4 類，且橋梁總體技術狀況評分為  $40 \leq D_r < 60$  時，橋梁總體技術狀況等級應評定為 3 類。

全橋總體技術狀況等級評定時，當主要部件評分達到 4 類或 5 類，且影響橋梁安全時，可按照橋梁主要部件最差的缺損狀況評定。

表 2-29 變數  $t$  值表

$n$ (構件數)	$t$	$n$ (構件數)	$t$ (若未列出採內差處理)
1	$\infty$	20	6.60
2	10	21	6.48
3	9.7	22	6.36
4	9.5	23	6.24
5	9.2	24	6.12
6	8.9	25	6.00
7	8.7	26	5.88
8	8.5	27	5.76
9	8.3	28	5.64
10	8.1	29	5.52
11	7.9	30	5.40
12	7.7	40	4.90
13	7.5	50	4.40
14	7.3	60	4.00
15	7.2	70	3.60
16	7.08	80	3.20
17	6.96	90	2.80
18	6.84	100	2.50
19	6.72	$\geq 200$	2.30

資料來源：公路橋梁技術狀況評定標準(JTG/T H21-2011)，中國大陸交通運輸部

表 2-30 梁式橋各部件權重值表

部位	類別 $i$	評價部件	權重
上部結構	1	上部承重構件 (主梁, 掛梁)	0.70
	2	上部一般構件 (濕接縫, 橫隔板等)	0.18
	3	支座	0.12
下部結構	4	翼牆, 耳牆	0.02
	5	錐坡, 護坡	0.01
	6	橋墩	0.30
	7	橋台	0.30
	8	墩台基礎	0.28
	9	河床	0.07
	10	調治構造物	0.02
橋面系	11	橋面鋪裝	0.40
	12	伸縮縫裝置	0.25
	13	人行道	0.10
	14	欄杆, 護欄	0.10
	15	排水裝置	0.10
	16	照明, 標誌	0.05

資料來源：公路橋梁技術狀況評定標準(JTG/T H21-2011)，中國大陸交通運輸部

表 2-31 橋梁結構組成權重值表

橋梁部位	權重
橋面系	0.20
上部結構	0.40
下部結構	0.40

## 2.5 芬蘭橋況評估指標

芬蘭公路管理局 (Finnra) 所使用的指標稱為維修指標 (KTI)，是依據結構部位損壞狀態加權計算而得，考量之參數包含損壞原因、損壞位置、損壞對橋梁承載能力之影響及維修急迫性[23]，橋梁被分成 9 個結構部位，各結構部位權重如表 2-32 所示。

表 2-32 橋梁各結構部位權重

NO	橋梁結構部位	權重 (Wt)
1	下部結構	0.70
2	邊梁	0.20
3	上部結構	1.00
4	橋梁面層	0.30
5	其他表面結構	0.50
6	欄杆	0.40
7	伸縮縫	0.20
8	其他	0.30
9	橋址	0.30

在檢測過程中，針對每個結構部位狀況給予 0(非常好)至 4(非常差)之評估值，如表 2-33 所示。每一處損壞情況都會根據其嚴重性和維修急迫性給予評等，維修急迫性及嚴重性之評等值如表 2-34 及表 2-35 所示。

表 2-33 結構部位狀況

狀況評等	評等值 (C)
0-全新	1
1-良好	2
2-滿意	4
3-差	7
4-非常差	11

表 2-34 維修急迫性

維修等級	維修急迫值 (U)
11-未來 2 年內進行維修	10
12-未來 4 年內進行維修	5
13-未來修復	1

表 2-35 損壞嚴重性

維修等級	損壞嚴重值 (D)
1-輕度	1
2-中等	2
3-嚴重	4
4-非常嚴重	7

KTI 之計算公式如式[2-15]，此方程式先取最嚴重之損壞分數，再將其  
他損壞分數加總後乘一折減係數 k (預設值為 0.2)，最後加總。

$$KTI = \max(Wt_i * C_i * U_i * D_i) + k \sum (Wt_j * C_j * U_j * D_j) \quad \text{式[2-15]}$$

KTI：修復指標

Wt：橋梁結構部件組成權重

C：結構部位狀況

U：結構部位需維修緊急程度

D：結構部位損壞嚴重程度

i：代表最嚴重之損壞

j：代表其他損壞

k：其他損壞之折減係數

## 2.6 德國橋況評估指標

德國橋況評估指標是採用狀況最差之構件，首先調查每個構件是否損壞，依據每個損壞對交通安全、穩定性及耐久性影響給予一  $Z_i$  值，另依表 2-36，不同損壞範圍有其對應之修正值  $\Delta_1$  [23]。

表 2-36 損壞範圍修正係數

$\Delta_1$ 值	損壞範圍
-0.1	小
0.0	中等
+0.1	大

不同部位之損壞各自組成一群組 (Component Group, CG)，如式[2-16]所示。

$$CG = \{Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_N\} \quad \text{式[2-16]}$$

群組之分數是取其中最大之  $Z_i$  值，公式如式[2-17]所示，另外考慮損壞發生次數，依表 2-37 及表 2-38，不同發生次數有其對應之修正值  $\Delta_2$ 。

$$Z_{CG_1} = \max\{Z_i\} + \Delta_2 \quad \text{式[2-17]}$$

表 2-37 損壞次數修正係數 (下部結構群組)

$\Delta_2$ 值	損壞發生次數
-0.1	$n < 5$
0.0	$5 \leq n \leq 15$
+0.1	$n > 15$

表 2-38 損壞範圍修正係數 (其他群組)

$\Delta_2$ 值	損壞發生次數
-0.1	$n < 5$
0.0	$5 \leq n \leq 15$
+0.1	$n > 15$

橋梁整體狀況指數( $Z_{ges}$ )之公式如式[2-18]所示，是取所有群組(CG)中最大者，考慮損壞群組之數量(群組越多代表橋梁有越多部位有損傷)，依表 2-39，不同群組數有其對應之修正值 $\Delta_3$ 。

$$Z_{ges} = \max\{Z_{CG}\} + \Delta_3 \quad \text{式[2-18]}$$

表 2-39 損壞群組數量修正係數

$\Delta_3$ 值	損壞群組數量
-0.1	1 到 3
0.0	4 到 5
+0.1	超過 5

## 2.7 臺灣橋梁檢測及橋況評估指標

### 2.7.1 臺灣橋梁檢測方式

臺灣目前各橋梁管理機關橋梁定期檢測所使用之檢測法稱為「DER&U 目視檢測法」，此檢測法為昭凌顧問工程公司與南非 CSIR 公司所共同發展之目視檢測評估法，最初是為高公局所開發之橋梁管理系統而設計之目視檢測評估法，民國 92 年頒布之「公路養護手冊」將 DER&U 目視檢測法明定為全國通用之橋梁定期檢測方法。

依目前交通部頒之「公路橋梁檢測及補強規範」規定，新建橋梁應於完工使用後二年內進行第一次定期檢測，爾後定期檢測之間隔以兩年為原則[24]，定期檢測仍維持使用 DER&U 目視檢測法，此法對每一個檢測項目(構件)依「劣化程度(Degree,D)」、「劣化範圍(Extent,E)」以及對橋梁安全性與服務性的「重要性(Relevancy,R)」，分別給予 1~4 之評分，1 代表狀況良好，4 則代表狀況十分嚴重，當構件有劣化時，則需給予建議維修工法，再針對該劣化維修之「急迫性(Urgency,U)」加以評定。在 D、E、R 及 U 之評等中，「0」具有特殊意義，當 D 填 0 時代表該橋無此項目，E 填 0 時代表此一構件無法檢測，R 填 0 時代表無法判定重要性，U 填 0 時則代表無法判定急迫性，評估準則如表 2-40 所示。

表 2-40 DER&U 目視檢測法評估準則

評分	0	1	2	3	4
劣化程度 (D)	無此項目	良好	尚可	差	嚴重損壞
劣化範圍 (E)	無法檢測*	10%以下	10%~30%	30%~60%	60%以上
重要性 (R)	無法判定重要性	微	小	中	大
急迫性 (U)	無法判定急迫性	例行養護	3 年內維護或持續追蹤	1 年內維護	緊急處置

\*E=0, 為此構件裂化範圍無法直接目視評等, 如地面以下之橋台基礎或橋墩基礎等構件。

### 2.7.2 臺灣橋況評估指標

為使有限之橋梁維護經費資源得發揮其最大化功能, 使亟需維修之橋梁能立即獲得適當維修, 有賴於橋況評估指標。民國 98 年頒布之「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」[25]及民國 104 年頒布之「公路鋼筋混凝土結構橋梁之檢測及補強規範」[26]中提及兩種橋梁整體性指標, 分別為狀況指標 (Condition Index, 簡稱 CI) 及優選指標 (Priority Index, 簡稱 PI), 此二指標是利用定期檢測所得各構件之 DER 評等值, 及各構件相對之重要性權重 ( $W_i$ ) 計算而得, 各構件之權重如表 2-41 所示。

表 2-41 各組合構件對橋梁重要性權重參考表

項次	構件	權重	項次	構件	權重
1	引道路堤	3	12	橋墩/橋基保護設施	6
2	引道護欄	2	13	橋墩基礎	8
3	河道	5	14	橋墩墩體/帽梁	7
4	引道路堤-保護措施	3	15	支承/支承墊	5
5	橋台基礎	6	16	防落設施	5
6	橋台	5	17	伸縮縫	6
7	翼牆/擋土牆	5	18	主要構件 (大梁)	8
8	鋪面	3	19	次要構件 (橫隔梁)	6
9	排水設施	4	20	橋面板	7
10	緣石及人行道	2	21	其他附屬設施	1
11	橋護欄	3			

CI 與 PI 之差異在於取用之構件 (檢測項目), 以及構件 (檢測項目) 狀況計算方式不同, 分述如下:

### (一) 橋梁狀況指標 (CI)

CI 計算公式如式[2-19]：

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^{21} (IC_i \times W_i)}{\sum_{i=1}^{21} W_i} \quad \text{式[2-19]}$$

上式中之  $IC_i$  為項次  $i$  之構件 (檢測項目) 狀況指標,  $IC_i$  之計算公式如式[2-20]：

$$IC_i = \frac{\sum_{j=1}^n IC_{ij}}{n} \quad \text{式[2-20]}$$

上式中,  $IC_{ij}$  為項次  $i$  之組合構件中編號為  $j$  之構件狀況指標,  $i$  為所屬構件 (檢測項目) 之項次,  $j$  為構件之構件編號 (如主梁編號、橋墩編號等),  $n$  為全橋中該類構件之數目 (如主梁總數、橋墩總數等),  $IC_{ij}$  之計算公式如式[2-21]：

$$IC_{ij} = 100 - 100 \times \frac{(D_{ij} \times E_{ij}) \times R_{ij}}{(4 \times 4) \times 4} \quad \text{式[2-21]}$$

$IC_{ij}$  使用構件之 DER 檢測評估值計算, 以 100 減劣化評分後所得之餘數, 故狀況越好之構件, 其  $IC_{ij}$  分數越高, 最高為 100, 最低為 0; 計算 CI 時,  $IC_i$  為  $IC_{ij}$  之平均值。

### (二) 橋梁之優選指標 (PI)

PI 旨在突顯示橋梁中與結構安全項目有關之構件劣化, 指標計算公式與 CI 類似, 計算步驟如下：

- (a) 先找出各檢測構件項目中單構件  $IC_{ij}$  之最小值, 即  $IC_{ij} (\min)$ 。
- (b) 每項檢測項目構件之  $IC_i$  值計算方式如下：

- (i) 若  $IC_{ij}(\min)$  值小於 50，則  $IC_i$  值為小於 50 之  $IC_{ij}$  值平均。
- (ii) 若  $IC_{ij}(\min)$  值介於 50 (含) 至 75 間，則  $IC_i$  值為此範圍之  $IC_{ij}$  值平均。
- (iii) 若  $IC_{ij}(\min)$  值介於 75 (含) 至 100 間，則  $IC_i$  值為此範圍之  $IC_{ij}$  值平均。

(c) 將一般性橋梁檢測項目中影響結構安全項目 (即表 2-40 檢測分類項目第 5 項和第 6 項、第 12 項至第 16 項及第 18 至第 20 項) 之  $IC_i$  值，經加權計算即可得 PI，公式如式[2-22]：

$$PI = \frac{\sum_{i=5}^6 (IC_i \times W_i) + \sum_{i=12}^{16} (IC_i \times W_i) + \sum_{i=18}^{20} (IC_i \times W_i)}{\sum_{i=5}^6 W_i + \sum_{i=12}^{16} W_i + \sum_{i=18}^{20} W_i} \quad \text{式[2-22]}$$

### 2.7.3 臺灣橋況評估指標之問題

CI 及 PI 在實際應用時有產生一些問題，歸納如下：

- (一) 「基本分」問題：當橋梁有無此構件 ( $D=0$ ) 或構件無法檢測 ( $E=0$ ) 時，該些構件 (檢測項目) 所佔之分數不會被扣掉，即使所有存在且可檢測到之構件 D、E、R 均達到 4，CI 及 PI 值仍會有一固定分數。
- (二) 「分數稀釋」問題：計算 CI 值時， $IC_i$  為  $IC_{ij}$  之平均，例如一座橋中有 8 支「主梁」，其中一支劣化嚴重，而其他 7 支狀況良好時，「主梁」之  $IC_i$  會維持在較高之分數。計算 PI 值時， $IC_i$  會依  $IC_{ij}$  之最小值而有不同取分區間，因此「分數稀釋」較 CI 值輕微。
- (三) 局部缺陷不易凸顯問題：表 2-40 中  $W_i$  較高之構件如橋墩基礎、橋墩墩體及主要構件(大梁)，其  $W_i$  僅 7~8，若橋梁之橋墩基礎嚴重裸露， $IC_{13}$  為 0 分，若其他構件均良好，則 CI 及 PI 仍有 92 分。

自民國 107 年交通部頒之「公路橋梁檢測及補強規範」起，將基本資料表、檢測表格及評分方式等，交由各橋梁管理機關依自身需求於橋梁管

理系統中自行調整，故不再將 CI、PI 等指標計算方式放入規範中。

## 2.8 其他相關文獻

### 2.8.1 公路橋梁耐震評估與補強設計規範

交通部於民國 109 年頒佈「公路橋梁耐震評估與補強設計規範」主要為提供既有跨徑 150 公尺以下之一般性公路橋梁，當公路橋梁有耐震安全疑慮時，耐震能力初步評估係採用簡便、快速之初步評估方法，進行橋梁之耐震能力評估後並加以篩選排序，對於有疑義之橋梁再視情況進行後續的耐震能力詳細評估之依據[27]。耐震評估檢查表法提出兩種耐震能力初步評估檢查表格，分別為落橋評估檢查表及強度韌性評估檢查表，落橋評估檢查表係評估地震時發生落橋之可能性，強度韌性評估檢查表評估地震時由強度與韌性組合而得之耐震能力。

落橋評估檢查表係考量橋址環境、結構系統與結構細部等三項要素，每一項目皆有其配分，根據評估內容得到該項目的權重，乘以配分後得該項目的評分，將各項目評分加總後得分數總計，如表 2-42。強度韌性評估檢查表同樣考量橋址環境、結構系統與結構細部等三項要素，其中，結構細部於表中再分為一般橋柱、壁式橋墩與鋼橋柱三種不同橋墩型式，填表時依受評橋梁實際情形擇一填寫。與落橋評估相同，將權重乘以配分後得到項目的評分，再將所有項目評分加總後得到總分，如表 2-43。落橋評估及強度韌性評估之總分最高為 100 分，評分愈高者，表示安全愈有疑慮。分數小於 30 分之橋梁，不須進行耐震能力詳細評估；分數介於 30 至 60 分者，宜進行耐震能力詳細評估；分數大於 60 分之橋梁，應優先進行耐震能力詳細評估。

表 2-42 公路橋梁耐震評估檢查表-落橋評估

橋梁名稱： 橋梁編號： 里程數： 振動單位： P ~P 評估者： 評估日期：  
 設計規範版本： □民國 76 年版及以前 □民國 84 年版及以後

項次	項目	配分	評 估	內 容	權重	評分
G101	橋 是否為第一類活動斷層近域	8	<input type="checkbox"/> 是(1.0) <input type="checkbox"/> 否(0)			
G102	址 地盤類別	4	<input type="checkbox"/> 台北盆地(1.0) <input type="checkbox"/> 軟弱地盤(0.67) <input type="checkbox"/> 普通地盤(0.33) <input type="checkbox"/> 堅實地盤(0)			
G103	環 相鄰橋墩間地表土質變化	2	<input type="checkbox"/> 大(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 小(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)			
G104	境 液化可能性	6	<input type="checkbox"/> 高(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 低(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)			
G105	相鄰兩振動單位結構系統差異性	8	<input type="checkbox"/> 大(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 小(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)			
G106	外懸梁	2	<input type="checkbox"/> 有(1.0) <input type="checkbox"/> 無(0)			
G107	梁端與橋墩或橋台之夾角 $\theta$	4	$w = \theta / 60 \leq 1.0$			
G108	縱坡坡度 S(%)	2	$w = S / 6\% \leq 1.0$			
G109	曲線橋 (半徑 $\leq 100m$ 或斜交角度 $\geq 30^\circ$ )	4	$w_1 = 1 - (r/100)$ ; $w_2 = (\alpha / 30^\circ) - 1$ ; $w = \max(w_1, w_2)$ ; $r$ : 半徑 ; $\alpha$ : 交角			
G110	基礎裸露程度	20	樁基礎： $w = h_{exp} / (2.4D)$ ; 沉箱基礎： $w = h_{exp} / (0.2h)$ , $h_{exp}$ : 樁基礎、沉箱基礎超出容許之裸露長度 ; $D$ : 樁基礎斷面直徑 ; $h$ : 沉箱基礎設計長度			
G111	支承狀況	4	<input type="checkbox"/> 極差(1.0) <input type="checkbox"/> 不良(0.67) <input type="checkbox"/> 尚可(0.33) <input type="checkbox"/> 良好(0)			

資料來源：公路橋梁耐震評估與補強設計規範，交通部

表 2-42 公路橋梁耐震評估檢查表-落橋評估 (續)

G112	結構細部	防落長度	20	$w = \frac{L_N - L_r}{L_N} \leq 1.0$ , 當 $L_N - L_r \geq 0$ ; $w = 0$ , 當 $L_r \geq L_N$ ; $L_r$ : 實際有效防落長度 $L_N$ : 97 年規範規定之防落長度 ; $L_N = (50 + 0.25L + 1.0H)(1 + \theta^2 / 8000)$	
G113		防落設施	12	<input type="checkbox"/> 兩向均無裝設(1.0) <input type="checkbox"/> 僅垂直行車向裝設(0.5) <input type="checkbox"/> 僅行車向裝設(0.25) <input type="checkbox"/> 兩向均有裝設(0)	
G114		其他異常現象	4	註：(1)防落設施功能不良者，權重再加 0.25。 (2) 當 $L_r \geq 1.2L_N$ ，行車向視為具有防落設施，且功能良好。	
分數總計			100	橋柱垂直度、支承座至帽梁邊緣混凝土之異常狀況等 <input type="checkbox"/> 嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 差(0.67) <input type="checkbox"/> 尚可(0.33) <input type="checkbox"/> 微(0)	

註：(1)實際防落長度如大於規範規定防落長度，橋址環境各項之評分可乘以折減係數  $\phi = 1 - 0.8[(L_r / L_N) - 1] \geq 0.6$ 。(2)評估內容中 w 或(0)內值為

計算之權重。(3)評分愈高者表安全愈有疑慮。

資料來源：公路橋梁耐震評估與補強設計規範，交通部

表 2-43 公路橋梁耐震評估檢查表-強度韌性評估

項次	項目	配分	評 估 內 容	權重	評分
G201	橋址	8	<input type="checkbox"/> 是(1.0) <input type="checkbox"/> 否(0)		
G202	地盤類別	6	<input type="checkbox"/> 台北盆地(1.0) <input type="checkbox"/> 軟弱地盤(0.67) <input type="checkbox"/> 普通地盤(0.33) <input type="checkbox"/> 堅實地盤(0) <input type="checkbox"/> 76年以後設計(0)		
G203	環境	6	<input type="checkbox"/> 高(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 低(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0) <input type="checkbox"/> 84年以後設計(0)		
G204	梁端與橋墩或橋台之夾角 $\theta^\circ$	4	$w = \theta^\circ / 60^\circ \leq 1.0$		
G205	橋柱或壁式橋墩高深比 $R$	6	當 $R \leq 2.5$ , $w = 1.0$ ; 當 $2.5 < R < 5$ , $w = (5 - R) / 2.5$ ; 當 $R \geq 5$ , $w = 0$ (取兩向評估之最大值)		
G206	振動單元中最高墩(柱)與最矮墩(柱)柱高之比值	4	當 $r \geq 1.5$ , $w = 1.0$ ; 當 $1.0 \leq r < 1.5$ , $w = -2 + 2r$		
G207	橋柱或壁式橋墩靜不定度	6	<input type="checkbox"/> 兩向均靜定(1.0) <input type="checkbox"/> 一向具靜不定(0.5) <input type="checkbox"/> 兩向均靜不定(0)		
G208	基礎裸露程度	24	樁基礎： $w = 2.0 - 2.0(h_{eff} / h)$ ；沉箱基礎： $w = 1.43 - 1.43(h_{eff} / h)$		
G209	一般橋	8	<input type="checkbox"/> 有搭接(1.0) <input type="checkbox"/> 無搭接(0)		
G210	柱底主筋搭接與否	8	<input type="checkbox"/> 民國49年以前(1.0) <input type="checkbox"/> 民國49年~76年(0.67) <input type="checkbox"/> 民國76年以後(0)		
G211	主筋斷點與箍筋細部	4	<input type="checkbox"/> 有斷點且箍筋較柱底少(1.0) <input type="checkbox"/> 有斷點但箍筋不少於柱底(0.5) <input type="checkbox"/> 無斷點(0)		
G212	橋柱與基礎劣化程度	8	<input type="checkbox"/> 嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 差(0.67) <input type="checkbox"/> 尚可(0.33) <input type="checkbox"/> 微(0)		
G209	細部	6	<input type="checkbox"/> 有搭接(1.0) <input type="checkbox"/> 無搭接(0)		
G210	壁式橋	8	<input type="checkbox"/> 民國49年以前(1.0) <input type="checkbox"/> 民國49年~76年(0.67) <input type="checkbox"/> 民國76年以後(0)		
G211	主筋斷點與箍筋細部	6	<input type="checkbox"/> 有斷點且箍筋較墩底少(1.0) <input type="checkbox"/> 有斷點但箍筋不少於墩底(0.5) <input type="checkbox"/> 無斷點(0)		
G212	墩	8	<input type="checkbox"/> 嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 差(0.67) <input type="checkbox"/> 尚可(0.33) <input type="checkbox"/> 微(0)		

資料來源：公路橋梁耐震評估與補強設計規範，交通部

表 2-43 公路橋梁耐震評估檢查表-強度韌性評估 (續)

G209	橋柱板之寬厚比	8	矩形柱 $\square \frac{b}{t} \geq \frac{63}{\sqrt{F_y}}$ (1.0) ; $\square \frac{43}{\sqrt{F_y}} \leq \frac{b}{t} < \frac{63}{\sqrt{F_y}}$ (0.5) ; $\square \frac{b}{t} < \frac{43}{\sqrt{F_y}}$ (0) 圓形柱 $\square \frac{D}{t} \geq \frac{232}{F_y}$ (1.0) ; $\square \frac{145}{F_y} < \frac{D}{t} < \frac{232}{F_y}$ (0.5) ; $\square \frac{D}{t} < \frac{145}{F_y}$ (0) ; unit : tf/cm <sup>2</sup>	
G210	縱向加勁板寬厚比	6	$\square \frac{b}{t} \geq \frac{63}{\sqrt{F_y}}$ (1.0) ; $\square \frac{16}{\sqrt{F_y}} \leq \frac{b}{t} < \frac{63}{\sqrt{F_y}}$ (0.5) ; $\square \frac{b}{t} < \frac{16}{\sqrt{F_y}}$ (0) ; unit : tf/cm <sup>2</sup>	
G211	人孔位置	6	<input type="checkbox"/> 內灌混凝土高/人孔位置高 $\geq 0.4(1.0)$ ; <input type="checkbox"/> 內灌混凝土高/人孔位置高 $< 0.4(0)$	
G212	橋柱銲接細部	8	<input type="checkbox"/> 半滲透銲(1.0) ; <input type="checkbox"/> 全滲透銲(0)	
G213	支承狀況與其他異常現象	8	支承強度與損壞狀況、橋柱垂直度、跨徑差異大、曲線橋、橋柱型式不同、銲接品質不良、腐蝕等 <input type="checkbox"/> 嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 差(0.67) <input type="checkbox"/> 尚可(0.33) <input type="checkbox"/> 微(0)	
分數總計		100		

註：(1) G209 至 G212 項，兩向均橋柱者填一般橋柱部分，兩向均壁式橋墩者填壁式橋墩部分，一向為橋柱，而另向為壁式橋墩者，取兩者評分之最大值。(2)評估內容中 W 或 0 內值為計算之權重。(3)評分愈高者表安全愈有疑慮。

資料來源：公路橋梁耐震評估與補強設計規範，交通部

## 2.8.2 跨河橋梁安全評估之研究

為提供橋梁安全預警系統、檢測方法、安全評估及橋梁維護等，交通部責成運輸研究所推動整合型計畫「跨河橋梁安全預警系統之建立研究」[28]，此研究分析國內目前對橋梁耐洪能力初步評估所考量的影響因素計15~17項因子，包含近年來主河道變遷的情形、河川整治辦理情形、近年內主河道河床下降的情形、鄰近有無採砂、上游攔河堰、上游橋梁、下游側具束縮河道之其他構造物、基礎型式本橋上下游之橋梁有無沖刷等問題、阻水比之效應、橋墩（基）方向與河川流向間之角度、河床軟岩之風化沖蝕、具側向侵蝕或水躍（或跌水）沖刷的潛在沖刷因素、其他會影響橋梁沖刷穩定之（異常）現象等。

經由上述影響沖刷因子資料分析，跨河段各不同沖刷因子對橋梁基礎之影響最終將反映表現在橋梁基礎結構處，進而影響到河床沖刷深度的改變、流速的改變及水位高度的改變，因此針對橋梁沖刷耐洪之安全評估模式建立，亦將考慮沖刷深度、水流流速及水位高度變化等三項因素的影響。

## 2.8.3 臺灣大氣腐蝕劣化因子之研究

臺灣為一海島型氣候，具有高濕及高鹽份的特性，加上大氣中的空氣污染物，乃形成金屬材料的高腐蝕環境。交通部運輸研究所運輸技術研究中心為瞭解及探討金屬在臺灣的大氣環境下特有之腐蝕特性，針對大氣腐蝕劣化因子調查並出版「2022年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查研究資料年報」[29]，提供土木設施作為防蝕設計及維護之參考，以提昇公共工程結構物安全。

大氣腐蝕性分類標準是依據金屬標準試樣在某環境中進行自然曝露試驗所得之腐蝕速率，再綜合該環境中大氣污染物濃度和金屬表面潤濕時間而進行分類。大氣腐蝕性佈點測站規劃以具有腐蝕環境分類之代表性區域為主，包含都市區、鄉村區、工業區、海洋區、及鐵公路沿線等場所安裝大氣腐蝕試驗器材。

依濕潤時間 ( $\tau$ )、氯鹽沉積速率 (S) 與二氧化硫沉積量 (P) 三者環境因子等級分類，將環境之腐蝕性依污染量或金屬最初第一年之腐蝕率大小，分為 C1、C2、C3、C4、C5 及 CX 六個等級，如表 2-44 所示，C1 表示腐蝕性非常低 (Very Low)，C2 表示腐蝕性低 (Low)，C3 表示腐蝕性中等 (Medium)，C4 表示腐蝕性高 (High)，C5 表示腐蝕性非常高 (Very High)，CX 表示腐蝕性極端高 (Extra High)，即代表特定海洋及海洋工業環境場所。

表 2-44 金屬材料大氣腐蝕環境分類表-依金屬腐蝕速率分類

腐蝕環境分類	腐蝕速率單位	碳鋼	鋅	銅	鋁
C1	$\text{g/m}^2/\text{yr}$	$\gamma_{\text{corr}} \leq 10$	$\gamma_{\text{corr}} \leq 0.7$	$\gamma_{\text{corr}} \leq 0.9$	—
	$\mu\text{m}/\text{yr}$	$\gamma_{\text{corr}} \leq 1.3$	$\gamma_{\text{corr}} \leq 0.1$	$\gamma_{\text{corr}} \leq 0.1$	—
C2	$\text{g/m}^2/\text{yr}$	$10 < \gamma_{\text{corr}} \leq 200$	$0.7 < \gamma_{\text{corr}} \leq 5$	$0.9 < \gamma_{\text{corr}} \leq 5$	$\gamma_{\text{corr}} \leq 0.6$
	$\mu\text{m}/\text{yr}$	$1.3 < \gamma_{\text{corr}} \leq 25$	$0.1 < \gamma_{\text{corr}} \leq 0.7$	$0.1 < \gamma_{\text{corr}} \leq 0.6$	—
C3	$\text{g/m}^2/\text{yr}$	$200 < \gamma_{\text{corr}} \leq 400$	$5 < \gamma_{\text{corr}} \leq 15$	$5 < \gamma_{\text{corr}} \leq 12$	$0.6 < \gamma_{\text{corr}} \leq 2$
	$\mu\text{m}/\text{yr}$	$25 < \gamma_{\text{corr}} \leq 50$	$0.7 < \gamma_{\text{corr}} \leq 2.1$	$0.6 < \gamma_{\text{corr}} \leq 1.3$	—
C4	$\text{g/m}^2/\text{yr}$	$400 < \gamma_{\text{corr}} \leq 650$	$15 < \gamma_{\text{corr}} \leq 30$	$12 < \gamma_{\text{corr}} \leq 25$	$2 < \gamma_{\text{corr}} \leq 5$
	$\mu\text{m}/\text{yr}$	$50 < \gamma_{\text{corr}} \leq 80$	$2.1 < \gamma_{\text{corr}} \leq 4.2$	$1.3 < \gamma_{\text{corr}} \leq 2.8$	—
C5	$\text{g/m}^2/\text{yr}$	$650 < \gamma_{\text{corr}} \leq 1500$	$30 < \gamma_{\text{corr}} \leq 60$	$25 < \gamma_{\text{corr}} \leq 50$	$5 < \gamma_{\text{corr}} \leq 10$
	$\mu\text{m}/\text{yr}$	$80 < \gamma_{\text{corr}} \leq 200$	$4.2 < \gamma_{\text{corr}} \leq 8.4$	$2.8 < \gamma_{\text{corr}} \leq 5.6$	—
CX	$\text{g/m}^2/\text{yr}$	$1500 < \gamma_{\text{corr}}$	$60 < \gamma_{\text{cor}}$	$50 < \gamma_{\text{cor}}$	$10 < \gamma_{\text{cor}}$
	$\mu\text{m}/\text{yr}$	$200 < \gamma_{\text{corr}}$	$8.4 < \gamma_{\text{corr}}$	$5.6 < \gamma_{\text{corr}}$	—

註： $\gamma_{\text{corr}}$  表腐蝕速率，為金屬最初第一年之腐蝕速率

資料來源：2022年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查研究資料年報，交通部運輸研究所港灣技術研究中心

## 2.8.4 整橋構件權重分配之研究

廖先格(2015)為檢討現行「DER&U 目視檢測法」之現況，擴充檢測項目(橋梁構件)以配合特殊橋梁之需求，並提出構件權重自動分配方法，建立橋梁各構件之「重要指標」，利用「重要指標」自動分配各構件之權重給存在之構件，針對以不同之角度審視構件之重要性，以計算出新 CI 及新 PI 指標[30]。為了定出橋梁各構件「重要性」，首先要從幾個角度去客觀的評估構件是否「重要」，透過專家訪談問卷進行統計調查，該研究提出六個評估因子，分別為：(1) 整體結構安全：當構件損壞時對橋梁在整體結構安全上之影響程度有多少、(2) 用路人服務性：當構件損壞時對用路人在行車舒適及安全上之影響程度有多少、(3) 修復所需時間：當構件損壞時需要花多少時間修復、(4) 耐震安全：當構件損壞時對橋梁在耐震能力上之影響程度有多少、(5) 沖刷安全：當構件損壞時對橋梁在沖刷安全上之影響程度有多少、(6) 土石流安全：當構件損壞時對橋梁在土石流安全上之影響程度有多少。針對每個評估因子，給予 1~4 之評分，1 代表影響輕微及可短時間內修復，4 則代表影響嚴重及需長時間才能修復，另外 0 代表沒有影響，評分標準如表 2-45。

表 2-45 構件重要性評分標準

	N/A	0	1	2	3	4
整體結構安全	不存在	沒有影響	輕微			嚴重
用路人服務性	不存在	沒有影響	輕微			嚴重
修復所需時間	不存在	(無此情況)	1 天內	1 週	1 個月	半年以上
耐震安全	不存在	沒有影響	輕微			嚴重
沖刷安全	不存在	沒有影響	輕微			嚴重
土石流安全	不存在	沒有影響	輕微			嚴重

「整體結構安全」、「用路人服務性」、「修復所需時間」、「耐震安全」、「沖刷安全」及「土石流安全」此六個因子並非同樣重要，為了將各構件在此六個因子的得分加總，以得到該構件之「重要指標」，在專家問卷中加入此六個因子間重要程度兩兩比較的問卷，再使用 ANP (Analytic Network Process) 計算出各因子間之相對權重 (Relative Weight)，所收回之 17 份問卷中，有 13 份通過一致性檢定，其一致性指標 (Consistency Index) 小於等於 0.1，視為有效問卷，另外 4 份的一致性指標大於 0.1，故不予以採用。將有效問卷之結果輸入 Super Decision 軟體進行運算，得到六個因子之相對權重，再將 13 份有效問卷各因子之權重取幾何平均並正規化，使六個因子之相對權重總和為 1，如表 2-46 所示。表 2-47 以橋長 100 公尺以上之梁式橋及箱型橋為範例，將各欄之數值乘以所屬因子之權重，再將各構件六個因子之加權分數加總，即得表格最右方之「重要指數」。

表 2-46 六評估因子之相對權重

評估因子	整體結構安全	用路人服務性	修復所需時間	耐震安全	沖刷安全	土石流安全
有效問卷 1	0.199	0.119	0.062	0.207	0.207	0.207
有效問卷 2	0.282	0.137	0.148	0.189	0.175	0.070
有效問卷 3	0.297	0.192	0.085	0.174	0.174	0.079
有效問卷 4	0.238	0.029	0.053	0.381	0.150	0.150
有效問卷 5	0.288	0.022	0.022	0.223	0.223	0.223
有效問卷 6	0.252	0.030	0.026	0.229	0.292	0.171
有效問卷 7	0.250	0.026	0.028	0.263	0.288	0.145
有效問卷 8	0.248	0.035	0.027	0.434	0.151	0.105
有效問卷 9	0.209	0.138	0.052	0.339	0.176	0.087
有效問卷 10	0.182	0.039	0.022	0.253	0.253	0.253
有效問卷 11	0.195	0.043	0.019	0.247	0.247	0.247
有效問卷 12	0.284	0.019	0.025	0.224	0.224	0.224
有效問卷 13	0.238	0.024	0.026	0.291	0.310	0.112
幾何平均	0.240	0.047	0.037	0.257	0.214	0.146
相對權重 (正規化後)	0.255	0.050	0.039	0.273	0.228	0.155

表 2-47 梁式橋及箱型橋重要指數計算範例

NO	構件名稱	整體結構安全 ×0.255	用路人服務性 ×0.050	修復所需時間 ×0.039	耐震安全 ×0.273	沖刷安全 ×0.228	土石流安全 ×0.155	重要指數 ( $I_i$ )
1	引道路堤	0.136	0.157	0.078	0.127	0.091	0.114	0.703
2	引道護欄	0.034	0.113	0.073	0.018	0.015	0.021	0.274
3	河道	0.459	0.037	0.125	0.437	0.851	0.403	2.311
4	引道護坡	0.170	0.073	0.088	0.091	0.152	0.124	0.699
5	橋台基礎	0.918	0.057	0.140	0.983	0.745	0.434	3.277
6	橋台	0.884	0.070	0.117	0.819	0.547	0.382	2.820
7	翼牆/擋土牆	0.425	0.060	0.096	0.218	0.258	0.196	1.254
8	摩擦層	0.017	0.173	0.057	0.018	0.000	0.000	0.266
9	橋面排水設施	0.034	0.113	0.060	0.000	0.000	0.000	0.207
10	緣石及人行道	0.017	0.123	0.078	0.000	0.000	0.000	0.218
11	橋護欄	0.034	0.137	0.091	0.000	0.000	0.000	0.262
12	橋墩保護設施	0.578	0.033	0.107	0.400	0.760	0.465	2.343
13	橋墩基礎	1.020	0.067	0.153	1.092	0.821	0.548	3.701
14	橋墩墩體/帽梁	0.969	0.067	0.130	1.074	0.517	0.393	3.149
15	支承/支承墊	0.612	0.077	0.104	0.692	0.091	0.083	1.658
16	防落設施	0.578	0.033	0.091	0.983	0.152	0.083	1.920
17	伸縮縫	0.221	0.177	0.088	0.328	0.046	0.021	0.880
18	主構件(大梁)	1.003	0.107	0.133	0.819	0.152	0.093	2.306
19	副構件(橫梁)	0.663	0.063	0.101	0.582	0.091	0.052	1.553
20	橋面版	0.663	0.143	0.104	0.328	0.106	0.062	1.406

研究中提出以重要指標 ( $I_i$ ) 計算各橋梁構件之權重 ( $Iw_i$ )，取代傳統使用 AHP 計算之相對權重之方式，並利用  $Iw_i$  計算出新狀況指標 (NCI) 和新優選指標 (NPI)，NCI 計算方式如式[2-23]至式[2-26]：

$$NCI = \frac{\sum_{i=1}^{18} Ic_i \times Iw_i}{\sum_{i=1}^{18} Iw_i} \quad \text{式[2-23]}$$

$$Ic_i = \frac{\sum_{j=1}^n Ic_{ij}}{n} \quad \text{式[2-24]}$$

$$Ic_{ij} = 100 - 100 \times \frac{(D \times E) \times R^a}{(4 \times 4) \times 4^a} \quad \text{式[2-25]}$$

$$w_i = \frac{I_i}{\sum I_i} \times 100 \quad \text{式[2-26]}$$

其中， $Ic_i$ 為第  $i$  項檢測項目之狀況值； $Ic_{ij}$ 為第  $i$  項檢測項目中第  $j$  個狀況值，式中  $a$  通常取 1，必要時可取 2； $Iw_i$ 為該橋梁檢測構件類型  $i$  之權重指數。 $Iw_i$ 由各構件之重要指標 ( $I_i$ ) 以式[2-19]計算而得，計算時僅取該座橋梁存在構件之重要指標 ( $I_i$ ) 列入計算，意指不存在於該座橋梁之構件，其  $I_i$  為零。

NPI 計算方式如式[2-27]：

$$NPI = \frac{\sum_{i=1}^{18} Ip_i \times Iw_i}{\sum_{i=1}^{18} Iw_i} \quad \text{式[2-27]}$$

其中，計算方式如式[2-28]

$$Ip_i = \frac{\sum_{j=1}^n Ic_{ij}}{n} \quad \text{式[2-28]}$$

其中， $Ip_i$ 為第  $i$  項檢測項目之優選狀況值； $Iw_i$ 為計算之權重指數； $Ic_{ij}$ 為第  $i$  項檢測項目中第  $j$  個狀況值，與計算 NCI 不同的是  $Ic_i$  之取法不同，先找出該項構件  $Ic_{ij}$  之最小值，即  $Ic_{ij}(\min)$ ，再根據以下規則篩選特定範圍內之  $Ic_{ij}$  後取平均：

1. 若  $Ic_{ij}(\min)$  小於 50，則選取小於 50 之  $Ic_{ij}$  進行平均。
2. 若  $Ic_{ij}(\min)$  介於 50 到 75 之間，則選取該範圍之  $Ic_{ij}$  進行平均。
3. 若  $Ic_{ij}(\min)$  介於 75 到 100 之間，則選取該範圍之  $Ic_{ij}$  進行平均。

## 2.9 小結

本章節回顧美國、日本、南非、中國大陸之橋梁檢測方式及橋況指標評估方式，以及芬蘭、德國之橋況指標評估方式，各國之目視定期檢測週期在 2 年到 5 年之間，臺灣之定期檢測週期以 2 年為原則乃參考美國之規定，最長不得超過 4 年。

美國橋況評估結果分 3 類，良好 (Good)、尚可 (Fair)，以及劣等 (Poor)，由「橋面板」、「上部結構」及「下部結構」中取最差者代表全橋；日本的橋況評估稱為「健全性」，分為 I~IV 共 4 類，首先評估橋梁各

部位之劣化程度，再根據劣化程度評估健全度，一般可依橋梁之主要構件中狀況最差的作為代表。而在最新版之「保全點檢要領 構造物篇」構件之個別判定中除了針對結構劣化進行判定外，增加了「針對第三者受害判定」（即 E），此概念類似 DER&U 中之 R 值，健全性診斷則類似 U 值之作用與橋梁之維修與養護時機有關；南非以橋梁狀況指標（ASCI）作為橋梁構件劣化嚴重程度進行計算，評估範圍從 0 到 100 數值，0 為最差，100 為最佳，另將 ASCI 數值分為 5 個區間，分別對應到 Very Good、Good、Fair、Poor 及 Very Poor 共 5 類；中國大陸之橋梁總體技術狀況評定分為 5 個等級，從 1 類至 5 類分別代表構件狀況完好至嚴重缺損，橋梁若有特別嚴重之劣化時將直接判定為第 5 類，例如梁、板斷裂、落梁等；芬蘭評估橋況指標（KTI），取最嚴重之損壞分數，加上其他損壞分數之總和再乘一折減係數 k；德國橋況指標（ $Z_{ges}$ ），是取所有損壞群組中最大者，另考慮損壞群組之數量，不同群組數有其對應之修正值；臺灣使用 DER&U 目視檢測評估法，針對各構件逐一進行評估，並透過公式計算構件狀況指標，再將所有構件指標加權後加總，成為橋梁狀況指標 CI。本研究針對各國評估指標判定方式及應用彙整如表 2-48。

綜上，本研究採納部分國家之橋梁橋況評估方式，以作為整橋風險評估模式發展之參考，例如美國及日本是以狀況最差之評等值為代表，本研究在計算結構性指標及耐洪性指標時，同一類型構件若有多個，將以最嚴重者代表該類構件。日本橋梁健全性之「II」等級及南非橋況分類「Fair」等級，代表尚未對功能造成障礙或有明顯劣化，提出此狀況下採取預防性維護為佳，本研究亦將預防性維護觀點納入考量，若橋管機關經費允許，可針對狀況尚不嚴重之橋梁進行維修，對橋梁日後延壽具有相當助益。

表 2-48 各國評估指標判定方式及應用彙整

國家	評估指標分類	評估指標判定方式	評估指標應用
美國	橋況分 3 類， Good、Fair 及 Poor	取「橋面板」、「上部結構」、「下部結構」中最差者	各州 Poor 的橋面板面積/全部橋面板面積，若連續 3 年未低於 10%，需保留聯邦政府分配給該州資金的 50%，用以改善橋況，直到 Poor 的橋面板面積低於 10%
日本	橋梁健全性分 4 類， I 類~IV 類	一般可依橋梁之主要構件中狀況最差的為代表	有關是否需維修、詳細檢測或緊急處置，是由「對策區分判定」控制，針對「橋梁健全性」未說明如何應用
南非	橋況分 5 類， Very Good、Good、Fair、Poor 及 Very Poor	依結構狀況指標(Average Structure Condition Index, ASCI) 範圍判斷	手冊未說明如何應用
中國大陸	總體技術狀況分 5 類， 1 類~5 類	依橋梁總體技術狀況評分(Dr) 範圍判斷；但有特殊情形時直接判定為第 5 類，例如梁、板斷裂、落梁等	提供橋梁養護決策依據，但未具體說明如何應用
芬蘭	依指標計算值，未分類	取最嚴重之損壞分數，加上其他損壞分數之總和再乘一折減係數	(未蒐集到應用面資訊)
德國	依指標計算值，未分類	取所有損壞群組中最大者，再視其他損壞群組數量多寡，加減一修正值	(未蒐集到應用面資訊)
臺灣	DER&U 目視檢測法， 分別給予 1~4 評等	民國 109 年前採用狀況指標 (Condition Index, CI) 及優先指標 (Priority Index, PI) 進行橋況評估，分數越高代表橋況越好	提供橋梁維護優先排序之建議，使需維修之橋梁能立即獲得適當維修

## 第三章 整橋風險評估模式建立

### 3.1 專家訪談

為了解橋梁管理機關及負責橋梁檢測之顧問公司對於整橋風險評估模式、橋梁狀況指標及橋梁構件權重之需求及看法，例如對整橋風險評等結果之應用方式、如何評估較為合理等，研究團隊遂進行專家訪談，受訪對象包含橋梁管理機關中負責橋梁管理及檢測人員，以及協助橋梁管理機關進行橋梁檢測及評估之顧問公司或學術單位人員，其對於 DER&U 目視檢測及橋梁管理系統均十分熟悉。表 3-1 為本研究訪談之 10 位專家名單。

表 3-1 專家訪談名單

NO	服務單位	職稱	姓名
1	桃園市政府工務局養護工程處	科長	呂國華
2	翊盛工程顧問有限公司	副總經理	張文彬
3	臺灣營建研究院工程技術暨管理研究所	所長	張嘉峰
4	交通部高速公路局南區養護工程分局	工程司	陳坤樟
5	台灣世曦工程顧問股份有限公司	經理	陳明谷
6	交通部公路局雲嘉南區養護工程處	副工程司	陳彥甫
7	交通部公路局北區養護工程處	主任工程司	楊秉順
8	黎明工程顧問股份有限公司	檢測組長	楊竣傑
9	中興工程顧問股份有限公司	主任	葉啟章
10	臺北市政府工務局新建工程處	股長	劉人豪

\*按專家學者姓氏筆劃由少至多排序

為使訪談過程能夠聚焦，本研究先初擬一份整橋風險評估模式之構想，並依此擬訂訪談問卷，詳附錄一，於訪談前先提供給專家參考，訪談時進一步詢問對於初擬之整橋風險評估模式之看法，訪談過程並不局限於該初擬之評估模式，仍對整橋風險評估模式、橋梁狀況指標及橋梁構件權重等方面詢問專家之看法。

專家之意見彙整於附錄二，並分為三大類：(1) 發展整橋風險評估模

式之整體意見、(2) 對於整橋風險評等方式之意見，及 (3) 對於橋況指標計算之意見。表 3-2 摘整專家訪談之意見，及本研究對應之應用方式。

表 3-2 專家訪談重點意見摘整

NO	專家意見	本研究應用方式
1	可於現行檢測規範制度下，透過 DER&U 值及橋梁基本資料進行評等，提升橋梁養護作業。	在維持現行檢測作業模式下，使用 DER&U 定期檢測紀錄及橋梁管理系統中之基本資料進行評估。
2	建議後續可用實際案例進行評估及驗證。	已完成 10 座橋梁之現地檢測及評估。
3	建議案例橋梁現地檢測時比照美國檢測方式，針對上部結構、下部結構及橋面板進行評等，以交叉比對本計畫整橋風險計算之結果是否相同。	已挑選 3 座橋梁使用美國之方式進行檢測及評估。
4	可以尋找橋管機關合作，舉辦一場討論會議或將計算結果提供給相關單位人員及專家學者檢視，了解是否適用或是需要調整。	已召開專家座談會議，並將整橋風險評估計算結果提供給專家檢視。
5	「整橋風險評等」分 4 類，I~IV，符合需求。	「整橋風險評等」結果採 I~IV，共 4 級。
6	分類後對應之結果集中於詳細檢測或結構安全評估恐過於侷限，建議可將維修、改建納入。	已調整「整橋風險評等」結果之說明，僅第 IV 級時會建議進行結構安全評估，並增加「經評估後採取適當之維修或補強，若難以有效維修或補強，或效益不高時，可考慮改建」。
7	縣市政府之板橋多屬小型橋梁，若分類後對應之結果為「需進行安全評估」，直接拆除重建可能較為迅速且符合經濟效益。	已調整「整橋風險評等」結果之說明，僅第 IV 級時會建議進行結構安全評估。
8	離海距離可改採港研中心金屬腐蝕速率等級作為判定標準。	已納入「碳鋼金屬腐蝕速率為 C5 或 CX」，另參考公路橋梁設計規範，調整離海距離為「離海岸 300 公尺以內」。
9	針對結構安全風險，建議達到某些條件時才進入評估。(例如：當主梁有劣化時，再視是否滿足離海岸距離 < 2km 之條件)	已增加風險評估啟動條件：基礎裸露、主要構件裂縫或鋼筋外露。未達啟動條件時，風險均為「低」，達啟動條件後，再視滿足幾項評估條件決定風險屬「低」、「中」或「高」。
10	建議將上、下游側固床工或其它河道保護工納入耐洪安全風險評等項目中。	已納入「上下游 500 公尺內是否有攔河堰」及「上下游 500 公尺內是否有橋梁」。
11	針對耐洪安全風險，建議當基礎有裸露時才進入評估。	已增加風險評估啟動條件：基礎裸露。未達啟動條件時，風險均為「低」，達啟動條件後，再視滿足幾項評估條件決定風險屬「低」、

NO	專家意見	本研究應用方式
		「中」或「高」。
12	長橋如何避免重要構件劣化嚴重，因計算式而被稀釋反而呈現狀況良好。	當同一類型構件有多個時，取劣化最嚴重者代表該類構件。
13	應思考如何訂定合理橋況指標範圍數值，避免誤入過去計算出 CI 分數較高，但無法反映出實際橋況。	SCI 及 FCI 僅選用關鍵構件進行計算，同時，不存在及無法檢測之構件，其權重將自動分配至其他構件。

### 3.2 整橋風險評估模式定位

依民國 109 年修訂之「公路橋梁檢測及補強規範」，對於橋梁定期檢測之頻率，以兩年檢測一次為原則，但公路養護單位得視情況調整，最長不得超過四年，在實務上，公路局針對跨河橋、跨感潮河段區排橋梁、出水高不足之跨區排橋梁，以及 F 類（定期檢測橋況最低前三名）橋梁採一年定期檢測一次，其他一般橋梁則為兩年定期檢測一次。公路局部分橋梁汛期前後均會檢測，但汛期後僅檢測 6 項構件，故不算為定期檢測。

高公局針對重點監控橋梁、跨徑超過 150 公尺及特殊類型橋梁採一年定期檢測一次，其他則為兩年定期檢測一次。高公局另有平時檢測，檢測項目未含所有構件，因此不算為定期檢測。

各縣市政府原則上均為兩年定期檢測一次，但針對少數前一年度檢測狀況較差（ $D \geq 3$  及  $R \geq 3$  或  $U \geq 3$ ）之橋梁及特殊橋，於今年度會再進行定期檢測，但並非常態性將該橋之檢測頻率定在一年檢測一次。綜上可知，橋梁管理機關會對部分橋梁增加檢測頻率，但尚未見到機關降低檢測頻率。

另外，在「公路橋梁檢測及補強規範」有提及於定期檢測或特別檢測後，對於安全有疑慮之橋梁進行詳細檢測及結構安全評估，在實務上，橋梁管理機關針對部分狀況較差之橋梁會進行詳細檢測，例如混凝土強度衝錘、混凝土中性化試驗，或針對橋墩基礎深度未知之橋梁進行地電阻探測，但結構安全評估則較少實施。上述規範中提及條文列於表 3-3。

表 3-3 「公路橋梁檢測及補強規範」相關條文

章	節	條文內容
第二章 檢測一般規定	2.3 檢測頻率	定期檢測：新建橋梁應於完工使用後二年內進行第一次定期檢測，爾後定期檢測之間隔以兩年為原則。如有特別情況，公路養護管理機關、公路養護單位得視實際狀況調整，惟不得超過四年。
第六章 結構安全評估	6.1 一般說明	橋梁進行定期檢測或特別檢測後，對於安全有疑慮之橋梁進行詳細檢測及結構安全評估，作為是否需進行維修補強之依據。

參考專家訪談所得到之意見，橋梁管理人員期待在現行檢測規範制度下，透過 DER&U 值及橋梁基本資料建立一評估模式，協助機關對橋梁之安全進行分類，可作為維修、詳細檢測、結構安全評估或是拆除重建之參考，而在檢視規範條文後認為，本研究所建立之「整橋風險評估模式」，在定位上包含下列幾項：

- (一) 基於「公路橋梁檢測及補強規範」對橋梁管理作為提供建議。
- (二) 評估結果應可作為機關進行橋梁管理決策之參考。
- (三) 維持現行檢測作業模式下，使用 DER&U 定期檢測紀錄及橋梁管理系統中之基本資料進行評估。
- (四) 整橋風險評估分類結果，不對維修時程提出建議，機關仍依檢測規範中 U 值之規定進行維修或處置。

### 3.3 整橋風險評估模式

#### 3.3.1 整橋風險評估分等

綜觀文獻回顧中之美、日、南非及中國大陸，以美國的橋梁狀況分類：「良好 (Good)」、「尚可 (Fair)」以及「劣等 (Poor)」，三個等級為基準，日本是在「劣等」這等級中，再分出一級「應緊急處置」，因此有 I~IV 共四級，南非及中國大陸則在良好這等級中，再分出一級「狀況全新或如新」，所以共分五級。以實際狀況而言，混凝土橋梁存在輕微缺陷在所難免，因此「狀況全新或如新」用處有限，但將劣等中更為嚴重之情況另分一級，於實務上確有必要，這類橋梁非一般之維修可以處理，往往需要補強，甚或難以有效補強時，可考慮拆除重建，例如當主梁之鋼筋已嚴重銹蝕，甚至銹斷時，已非單純之鋼筋除銹加混凝土修補能夠處理，需進一步評估是否需補強、採何種方式才能有效補強。因此本研究提出之「整橋風險評估」結果分為 I~IV 共四級，分別為良好、尚可、較差及嚴重，如表 3-4 所示。

表 3-4 整橋風險評估結果分級

等級	說明
I	橋梁狀況良好，若無明顯會造成嚴重危害之因素，可於檢測規範所定範圍內，適度放寬檢測頻率。
II	橋梁狀況尚可，尚未影響結構或耐洪性能。可考慮進行預防性維修。
III	橋梁狀況較差，結構或耐洪性能已受影響。建議進行適當之維修，或調高檢測頻率。
IV	橋梁狀況嚴重，對結構或耐洪性能造成嚴重影響。建議依橋況進行緊急處置或結構安全評估，經評估後採取適當之維修或補強，若難以有效維修或補強，或效益不高時，可考慮改建。
備註：橋梁管理機關仍須依檢測規範中 U 值之規定進行維修或處置	

等級 I 之橋梁為狀況良好，而針對橋況良好，且無明顯會造成橋況劣化之因素時，基於「公路橋梁檢測及補強規範」，機關可放寬檢測頻率，但最長不得超過四年；等級 II 之橋梁為狀況尚可，雖有劣化，但並不會造成橋梁立即的危險，參考日本及南非對於狀況尚可之橋梁有提出「基於預防

性維護觀點，最好採取處置措施」，因此對於等級 II 之橋梁提出「可考慮進行預防性維修」之建議；等級 III 之橋梁為狀況較差，其劣化較為嚴重致使橋梁之結構安全或耐洪能力已受影響，需要採取適當之維修，若未能於近期完成維修，亦應增加其檢測頻率，觀察劣化有無急速加劇；等級 IV 之橋梁為狀況嚴重，橋梁已經屬不安全狀態，簡單之維修恐無法回復其結構安全或耐洪能力，通常需經評估後進行補強，亦可能無法有效補強，而必須採取封橋或改建等措施。

對於橋梁如何評估，美國是以橋面板、上部結構、下部結構中評等最差者作為整橋評等之代表，日本是從影響橋梁結構安全之主要構件中，以狀況最嚴重者作為整橋評等之代表，而南非及中國大陸則使用公式計算出一數值指標，再依指標之分數區間進行分等。考量臺灣屬於複合性災害區域，橋梁損毀之主要原因不外乎地震及基礎沖刷，使用單一數值指標作為評等依據，將難以突顯橋梁狀況，例如一橋僅部分基礎因沖刷而裸露，其餘構件均良好，若綜合計算出一指標，其評等應偏尚可，但以臺灣河川之沖刷狀況，該橋已具一定程度之危險。故本研究提出之「整橋風險評估」結果，是由「結構安全評等」(分為 I~IV 級)及「耐洪安全評等」(分為 I~IV 級)中取較差者為代表，舉例說明，若一橋之「結構安全評等」為 III，而「耐洪安全評等」為 I 時，其「整橋風險評估」等級為 III。圖 3.1 為本研究所提整橋風險評估模式之評估流程，其中有關「構件狀態指標」於 3.3.2 小節中說明，「結構安全評等」於 3.3.4 小節中說明，「耐洪安全評等」於 3.3.5 小節中說明。

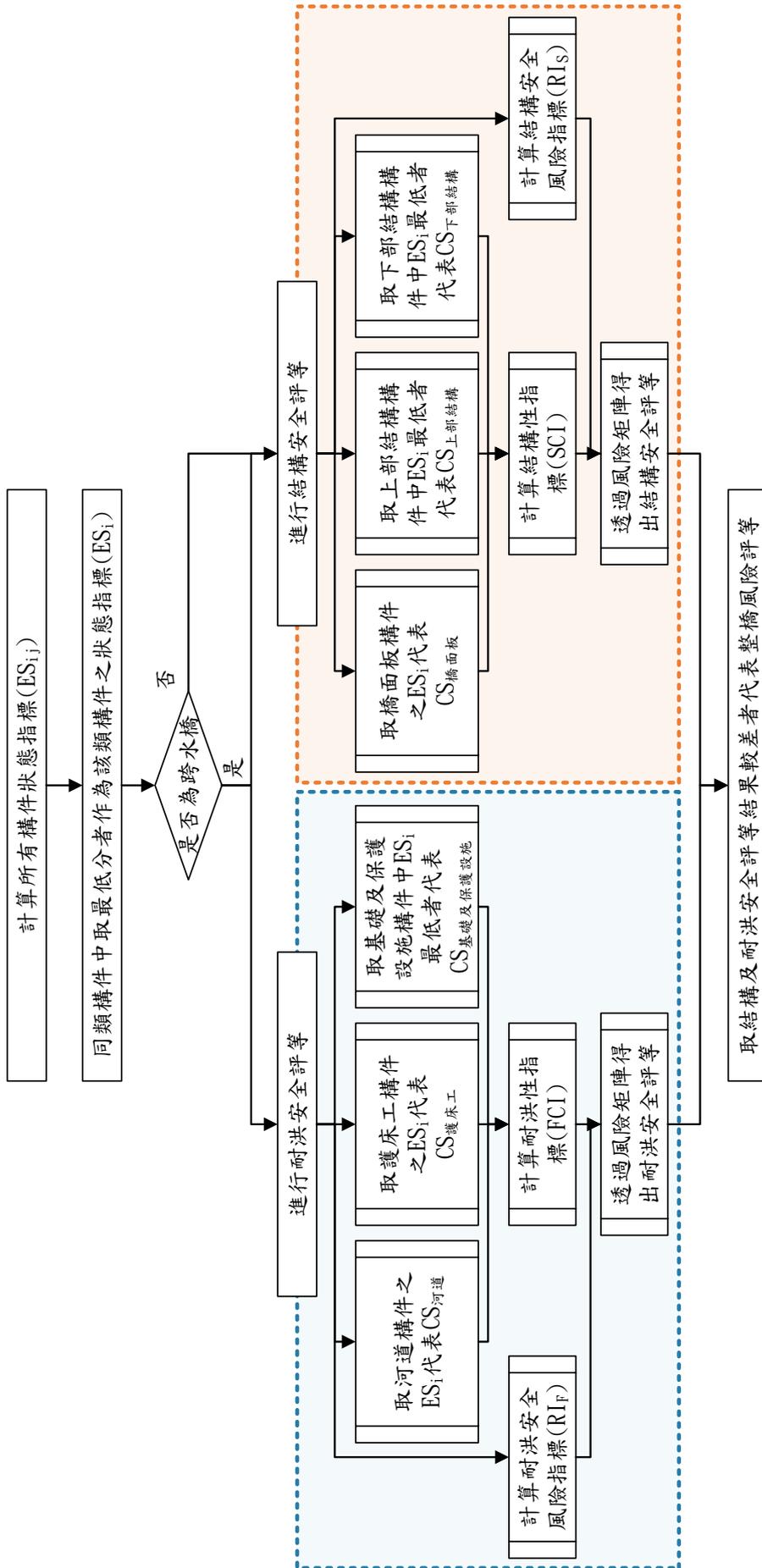


圖 3.1 整體橋風險評估流程

### 3.3.2 構件狀態指標

DER&U 法原本即有設計一公式 (如式[2-21])，將檢測表中各構件之 D、E、R 值轉換為構件之狀態分數，為了有別於過去之代號，本研究之構件狀態指標以 Element State (簡稱  $ES_{ij}$ ) 稱之， $ES_{ij}$  之  $i$  為構件 (檢測項目) 之編號， $j$  為當構件有複數個同類型構件時的第  $j$  個構件，例如一橋有 8 支主梁，則  $j$  為 1~8。本研究所提出之  $ES_{ij}$  計算公式如式[3-1]。

$$ES_{ij} = 100 - 100 \times \left( \frac{D \times R}{4 \times 4} \right)^a \quad \text{式[3-1]}$$

$ES_{ij}$  為一 0~100 之數值，依 DER&U 法之填寫方式，當  $D=1$  時， $R$  為空白，此時  $ES_{ij}=100$ ，當  $D、R$  均為 4 時  $ES_{ij}=0$ ，另外，無此構件 ( $D=0$ ) 或無法檢測 ( $E=0$ ) 之構件則不納入計算。式[3-1]與式[2-21]之差異，第一為移除  $E$  值，主因為  $E$  值對構件狀態之影響不若  $D$  及  $R$  值重要，例如混凝土結構裂縫  $E$  值通常不比混凝土剝落大，但影響程度卻較為嚴重。與式[2-21]之差異，第二為增加一指數  $a$ ，用以調整不同程度  $D、R$  值所計算出之  $ES_{ij}$ ，有關  $a$  值之選用於 3.3.4 小節中會進一步說明。

從文獻回顧中可知，過去在計算  $CI$  時，會將  $IC_{ij}$  平均，得到該構件之  $IC_{ij}$ ，因此當單一構件分數較低，其餘構件分數較高時，分數低之構件狀況無法有效被呈現，但就影響橋梁安全之重要構件來看，因只要其中一個主要構件失效，即可能造成橋梁無法通行，因此本研究改取  $ES_{ij}$  中之最小值作為  $ES_i$ ，計算公式如式[3-2]。

$$ES_i = \min(ES_{ij}) \quad \text{式[3-2]}$$

### 3.3.3 構件重要指數

文獻回顧中之表 2-41 所列之構件及其權重 ( $W_i$ )，因 107 年及 109 年「公路橋梁檢測及補強規範」修訂，加上橋梁管理機關實務上之需求，目前車行橋梁管理資訊系統中之構件已與表 2-41 有差異。本研究採用廖先格 (2015) 提出構件重要指標 ( $I_i$ )，於專家訪談時請專家填寫調查表 (見附錄一)，重新調查混凝土一般性橋梁各構件之  $I_i$ 。採用  $I_i$  而非過去之  $W_i$ ，主要理由有二，其一為表 2-40 中  $W_i$  之訂定方式為透過 AHP 問卷調查，所得到之  $W_i$  為相對權重，若構件種類非表 2-40 之 21 項時，假設為 18 項，則須透過這 18 項構件之調查表，重新計算 18 項構件之  $W_i$ ，以目前車行橋梁管理資訊系統基本資料採構件化之架構，不太可能逐一計算各種構件組合下之  $W_i$ ；其二為  $I_i$  之計算是針對個別構件，透過 6 個因子去評估構件之重要程度，包含 (1) 整體結構安全、(2) 用路人服務性、(3) 修復所需時間、(4) 耐震安全、(5) 沖刷安全及 (6) 土石流安全，日後無論因規範修訂或是橋梁管理機關希望增加新構件，只要針對新增加之構件計算其  $I_i$  即可。廖先格之研究中，針對前述 6 個評估因子間有計算相對權重，本研究直接引用，未重新調查，如表 3-5 所示。

表 3-5 重要程度評估因子權重

NO	評估因子	權重
1	整體結構安全	0.255
2	用路人服務性	0.050
3	修復所需時間	0.039
4	耐震安全	0.273
5	沖刷安全	0.228
6	土石流安全	0.155
	加總	1.000

目前車行橋梁管理資訊系統中，混凝土一般性橋梁可建立之構件種類共 21 類，使用如表 3-6 之調查表，請受訪專家逐一填寫 0~4 (或 N/A)，之分數，彙整專家所填調查表數據，取算術平均數，得到 21 類構件在 6 個

評估面之數值，如表 3-7 所示。將表 3-7 中之數值乘以所屬評估因子之權重，如表 3-8 所示，再將各構件在 6 個評估面加權後之數值加總，得到 21 類構件之  $I_i$ 。

表 3-6 構件重要程度調查專家填寫範例

NO	構件名稱	整體結構安全	用路人服務性	修復所需時間	耐震安全	沖刷安全	土石流安全
1	引道路堤	1	1	2	1	2	0
2	引道路堤護欄	0	1	2	0	0	0
3	引道路堤保護措施	2	2	3	2	2	1
4	河道	3	1	4	3	4	4
5	護床工	2	0	4	1	4	4
6	橋台基礎	4	1	4	4	4	4
7	橋台	4	1	4	4	4	4
8	翼牆/擋土牆	1	1	3	1	3	3
9	橋梁排水設施	0	4	1	0	0	0
10	橋護欄	1	4	2	0	0	0
11	伸縮縫	1	4	2	1	0	0
12	支承/支承墊/阻尼裝置	3	2	2	4	2	2
13	防落設施	2	1	2	4	4	4
14	橋墩/橋基保護設施	2	1	4	2	4	4
15	橋墩基礎	4	1	4	4	4	4
16	橋墩/帽梁	4	2	3	4	2	2
17	橋墩側向支撐	4	1	3	4	4	4
18	主梁	4	3	3	1	2	2
19	橫隔梁	2	2	2	2	1	1
20	托梁	2	2	2	2	2	2
21	橋面板	4	4	2	2	2	2

表 3-7 構件重要程度調查結果

NO	構件名稱	整體結構安全	用路人服務性	修復所需時間	耐震安全	沖刷安全	土石流安全
1	引道路堤	1.000	2.900	2.100	0.600	0.800	0.900
2	引道路堤護欄	0.500	3.000	2.200	0.300	0.200	0.200
3	引道路堤保護措施	0.900	2.100	2.400	0.900	1.300	1.400
4	河道	1.600	1.000	3.100	0.800	3.300	2.700
5	護床工	1.600	1.000	3.350	0.400	3.500	2.500
6	橋台基礎	3.800	2.000	3.450	3.400	3.800	3.200
7	橋台	3.800	1.800	2.800	3.400	2.600	2.900
8	翼牆/擋土牆	2.250	1.600	2.600	1.900	1.500	2.000
9	橋梁排水設施	0.700	2.000	2.300	0.400	0.200	0.100
10	橋護欄	0.800	3.250	2.100	0.200	0.200	0.200
11	伸縮縫	1.950	3.700	2.200	1.800	0.600	0.400
12	支承/支承墊/阻尼裝置	2.600	1.350	3.050	3.400	0.700	0.700
13	防落設施	2.400	0.600	2.750	3.600	0.900	0.800
14	橋墩/橋基保護設施	1.700	1.000	3.000	1.300	3.300	3.000
15	橋墩基礎	4.000	2.100	4.000	3.600	3.900	3.300
16	橋墩/帽梁	3.900	2.200	3.250	3.600	2.500	2.900
17	橋墩側向支撐	2.800	1.400	2.750	3.300	1.600	1.600
18	主梁	3.900	2.750	3.300	3.000	0.800	1.700
19	橫隔梁	2.100	1.700	2.900	1.900	0.500	0.700
20	托梁	2.750	2.200	2.450	2.600	0.600	0.900
21	橋面板	3.650	3.350	2.900	2.700	0.600	0.900

表 3-8 構件重要指標

NO	構件名稱	整體結構安全 ×0.255	用路人服務性 ×0.050	修復所需時間 ×0.039	耐震安全 ×0.273	沖刷安全 ×0.228	土石流安全 ×0.155	構件重要指標 (I <sub>i</sub> )
1	引道路堤	0.255	0.145	0.082	0.164	0.182	0.140	0.968
2	引道路堤護欄	0.128	0.150	0.086	0.082	0.046	0.031	0.522
3	引道路堤保護措施	0.230	0.105	0.094	0.246	0.296	0.217	1.187
4	河道	0.408	0.050	0.121	0.218	0.752	0.419	1.968
5	護床工	0.408	0.050	0.131	0.109	0.798	0.388	1.883
6	橋台基礎	0.969	0.100	0.135	0.928	0.866	0.496	3.494
7	橋台	0.969	0.090	0.109	0.928	0.593	0.450	3.139
8	翼牆/擋土牆	0.574	0.080	0.101	0.519	0.342	0.310	1.926
9	橋梁排水設施	0.179	0.100	0.090	0.109	0.046	0.016	0.539
10	橋護欄	0.204	0.163	0.082	0.055	0.046	0.031	0.580
11	伸縮縫	0.497	0.185	0.086	0.491	0.137	0.062	1.458
12	支承/支承墊/阻尼裝置	0.663	0.068	0.119	0.928	0.160	0.109	2.046
13	防落設施	0.612	0.030	0.107	0.983	0.205	0.124	2.061
14	橋墩/橋基保護設施	0.434	0.050	0.117	0.355	0.752	0.465	2.173
15	橋墩基礎	1.020	0.105	0.156	0.983	0.889	0.512	3.665
16	橋墩/帽梁	0.995	0.110	0.127	0.983	0.570	0.450	3.234
17	橋墩側向支撐	0.714	0.070	0.107	0.901	0.365	0.248	2.405
18	主梁	0.995	0.138	0.129	0.819	0.182	0.264	2.526
19	橫隔梁	0.536	0.085	0.113	0.519	0.114	0.109	1.475
20	托梁	0.701	0.110	0.096	0.710	0.137	0.140	1.893
21	橋面板	0.931	0.168	0.113	0.737	0.137	0.140	2.225

### 3.3.4 結構安全評等

結構安全評等分為 I~IV 級（便於與「整橋風險評估」等級對應），I 代表橋梁在結構安全方面狀況良好，IV 代表橋梁在結構安全方面屬於嚴重，如表 3-9 所示。

表 3-9 結構安全評等分級

等級	說明
I	橋梁結構安全狀況良好。
II	橋梁結構安全狀況尚可。
III	橋梁結構安全狀況較差。
IV	橋梁結構安全狀況嚴重。

從風險之角度來評估橋梁之結構安全，本研究認為應分為兩部分，其一為橋梁結構相關構件之狀況，另一為可能造成橋梁結構破壞之因素。針對結構相關構件之狀況，本研究提出一「結構性指標（Structural Condition Index，簡稱 SCI）」，利用定期檢測紀錄中相關構件之 DER&U 值計算而得；針對可能造成橋梁結構破壞之因素，本研究提出一「結構安全風險指標（Risk Index for Structural Safety，簡稱 RIs）」，利用定期檢測紀錄中之劣化狀態及橋梁管理系統中之基本資料進行評估。再利用表 3-10 之結構安全橋況與風險矩陣，決定結構安全評等。

表 3-10 結構安全橋況與風險矩陣

		RIs		
		低	中	高
SCI	良好	I	I	II
	輕微	II	II	III
	中等	II	III	IV
	嚴重	IV	IV	IV

當 SCI 為良好時，代表橋梁構件狀況不錯，雖然可能存在造成橋梁結構破壞之因素，即使 RIs 結果為高，整體而言結構安全狀況應屬尚可，結構安全評等為 II，而 RIs 結果為中或低時，結構安全評等均為 I。

當 SCI 為輕微時，代表橋梁構件有零星之劣化，若存在造成橋梁結構破壞之因素較多，即 RI<sub>s</sub> 為高，已發生之劣化易日趨嚴重，建議進行適當之維修，或調高檢測頻率，因此結構安全評等為 III，而造成橋梁結構破壞之因素較少時，即 RI<sub>s</sub> 為中或低時，由於橋梁雖有劣化但不嚴重，可考慮進行預防性維修，結構安全評等為 II。

當 SCI 為中等時，代表橋梁構件已有一定程度之劣化，若存在造成橋梁結構破壞之因素較多，即 RI<sub>s</sub> 為高，橋梁損毀之可能性隨之提高，因此結構安全評等為 IV，而造成橋梁結構破壞之因素中等時，即 RI<sub>s</sub> 為中，結構安全評等為 III，當 RI<sub>s</sub> 為低時，結構安全評等為 II。

當 SCI 為嚴重時，代表橋梁構件已相當差，甚至出現 D=4 且 R=4 之嚴重劣化，此時無論 RI<sub>s</sub> 為低或高，橋梁均不安全，因此結構安全評等為最差之 IV。

#### (一) SCI 計算方式

SCI 之計算公式如式[3-3]所示，是從 CI 之計算公式改良而來。

$$SCI = \left( \frac{\sum_{i=1}^x (CS_i \times I_i)}{\sum_{i=1}^x I_i} \right)^b \div 100^{(b-1)} \quad \text{式[3-3]}$$

公式中之 CS<sub>i</sub> 為部位狀態指標 (Component State)，有鑑於過去計算 CI 時將所有構件個別加權後加總，造成少數構件狀況嚴重，但 CI 分數仍偏高之情形，本研究參考美國橋梁檢測指標設定模式，採用「橋面板」、「上部結構」及「下部結構」三大部位，部位之 CS<sub>i</sub> 取所屬構件中 ES<sub>i</sub> 最小者為代表，如式[3-4]，若 ES<sub>i</sub> 相同時，取 I<sub>i</sub> 高者為代表。SCI 計算用部位所屬構件如表 3-11 所示，使用部位計算除了大幅降低過去 CI 之缺點，另一優點就是未來納入特殊橋時，僅需將特殊橋之構件加入所屬部位即可，式[3-3]不須異動。

$$CS_i = \min(ES_i) \quad \text{式[3-4]}$$

表 3-11 SCI 計算用部位及所屬構件

NO	部位	所屬構件	備註
1	橋面板	橋面板	
2	上部結構	主梁	未來加入特殊橋時應可增加拱圈、鋼纜系統及桁架構件
3	下部結構	橋台基礎、橋台、橋墩基礎、橋墩、橋墩側向支撐	未來加入特殊橋時應可增加橋塔基礎、橋塔

舉例說明，若一橋之下部結構有橋台基礎、橋台、橋墩基礎、橋墩共 4 類構件，其 D、E、R 值及  $ES_i$  值等如表 3-12 所示，橋台及橋墩之  $ES_i$  數值相同，因橋墩之  $I_i$  較橋台高，故此橋之  $CS_{\text{下部結構}}$  即為  $ES_{\text{橋墩}}$ 。

表 3-12 下部結構  $CS_i$  計算範例

NO	構件編號	構件名稱	D	E	R	$ES_{ij}$	$ES_i$	$I_i$	$CS_i$
1	A01	橋台基礎		0		不計算	不計算	3.494	82.202
2	A02	橋台基礎		0		不計算			
3	A01	橋台	3	2	3	82.202	82.202	3.139	
4	A02	橋台	2	2	2	98.438			
5	P01	橋墩基礎	2	1	1	99.805	99.805	3.665	
6	P01	橋墩	3	1	3	82.202	82.202	3.234	

式[3-3]與 CI 之公式差異，除使用  $CS_i$  進行計算外，另一點是由  $I_i$  取代  $W_i$ ，因表 2-41 之  $W_i$  已不符合目前使用。由於計算  $ES_i$  時公式中加入指數 a，為使 SCI 之數字能較為平均的分佈在 0~100 之區間，式[3-3]將加權後之分數增加一指數 b 再除  $100^{(b-1)}$ ，有關 b 值之選用詳述於後。

(二) 指數 a、b 與 SCI 分數級距訂定

指數 a 在 D=1 及 D、R 均為 4 時對  $ES_{ij}$  無影響 (當 D=1 時  $ES_{ij}=100$ ，當 D、R 均為 4 時  $ES_{ij}=0$ )，因此先將 a 設為 1，測試不同 b 值，在「橋面板」、「上部結構」及「下部結構」其中一部位 D、R 均為 4 時，SCI 之分數變化，表 3-13 中「橋面板」部位之構件即「橋面板」( $I_i=2.225$ )，「上部結構」之構件為「主梁」( $I_i=2.526$ )，「下部結構」則以「橋墩/帽梁」( $I_i=3.234$ ) 為代表，本研究認為當任一部位 D、R 均為 4 時，即使其他部位均為良好，SCI 分數應在 60 以下，由表 3-13 可知，當 b=2 時即可滿足此一需求。

表 3-13 指數 b 與 SCI 對照表

組合	橋面板 (橋面板)		上部結構 (主梁)		下部結構 (橋墩)		SCI (a=1)						
	D	R	D	R	D	R	b=1	b=1.5	b=2	b=2.5	b=3	b=3.5	b=4
一	4	4	1		1		72.14	61.27	52.03	44.19	37.54	31.88	27.08
二	1		4	4	1		68.37	56.53	46.74	38.65	31.95	26.42	21.85
三	1		1		4	4	59.50	45.89	35.40	27.31	21.06	16.25	12.53

再將 b 設為 2，測試在「橋面板」、「上部結構」及「下部結構」之 19 種 DR 值組合時，不同 a 值所對應之 SCI，表 3-14 為不同 a 值與 SCI 對照表，圖 3.2 為不同 a 值與 SCI 對照圖。表 3-14 中「橋面板」部位之構件即「橋面板」( $I_i=2.225$ )，「上部結構」之構件為「主梁」( $I_i=2.526$ )，「下部結構」則以「橋墩/帽梁」( $I_i=3.234$ ) 為代表。本研究將 SCI 分為「良好」、「輕微」、「中等」及「嚴重」四個級距，針對「良好」，可接受之最差狀態為三部位均為 D=2 且 R=1；針對「輕微」，可接受之最差狀態為三部位均為 D=2 且 R=2；針對「中等」，可接受之最差狀態為一個部位達 D=3 且 R=3，其餘均為 D=3 且 R=2，若兩個部位達 D=3 且 R=3 即屬於「嚴重」。當 a=2 時，「良好」之 SCI 下界可設為 95 分，「輕微」之 SCI 下界可設為 85 分，「中等」之 SCI 下界可設為 60 分，SCI 各級距數值列於表 3-15。綜上，本研究建議 a 及 b 均為 2。

表 3-14 指數 a 與 SCI 對照表

組合	橋面板		上部結構		下部結構		SCI (b=2)						
	D	R	D	R	D	R	a=1	a=1.5	a=2	a=2.5	a=3	a=3.5	a=4
1	1		1		1		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2	2	1	1		1		93.16	97.55	99.13	99.69	99.89	99.96	99.99
3	2	1	2	1	1		85.68	94.81	98.15	99.34	99.77	99.92	99.97
4	2	1	2	1	2	1	76.56	91.36	96.90	98.90	99.61	99.86	99.95
5	2	2	2	1	2	1	70.59	87.10	94.34	97.48	98.85	99.47	99.75
6	2	2	2	2	2	1	64.10	82.40	91.49	95.88	97.99	99.02	99.52
7	2	2	2	2	2	2	56.25	76.56	87.89	93.85	96.90	98.44	99.22
8	3	2	2	2	2	2	51.15	71.54	83.86	90.91	94.87	97.09	98.34
9	3	2	3	2	2	2	45.65	66.05	79.39	87.63	92.60	95.57	97.35
10	3	2	3	2	3	2	39.06	59.35	73.85	83.52	89.73	93.65	96.08
11	3	3	3	2	3	2	32.80	51.38	65.67	76.00	83.24	88.27	91.75
12	3	3	3	3	3	2	26.36	43.03	56.97	67.89	76.17	82.36	86.94
13	3	3	3	3	3	3	19.14	33.42	46.73	58.17	67.57	75.09	80.98
14	4	3	3	3	3	3	14.84	26.49	37.83	48.04	56.86	64.31	70.50
15	4	3	4	3	3	3	10.62	19.60	28.86	37.71	45.82	53.08	59.47
16	4	3	4	3	4	3	6.25	12.28	19.14	26.30	33.42	40.28	46.73
17	4	4	4	3	4	3	3.25	6.39	9.96	13.69	17.39	20.96	24.32
18	4	4	4	4	4	3	1.03	2.01	3.14	4.31	5.48	6.61	7.67
19	4	4	4	4	4	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

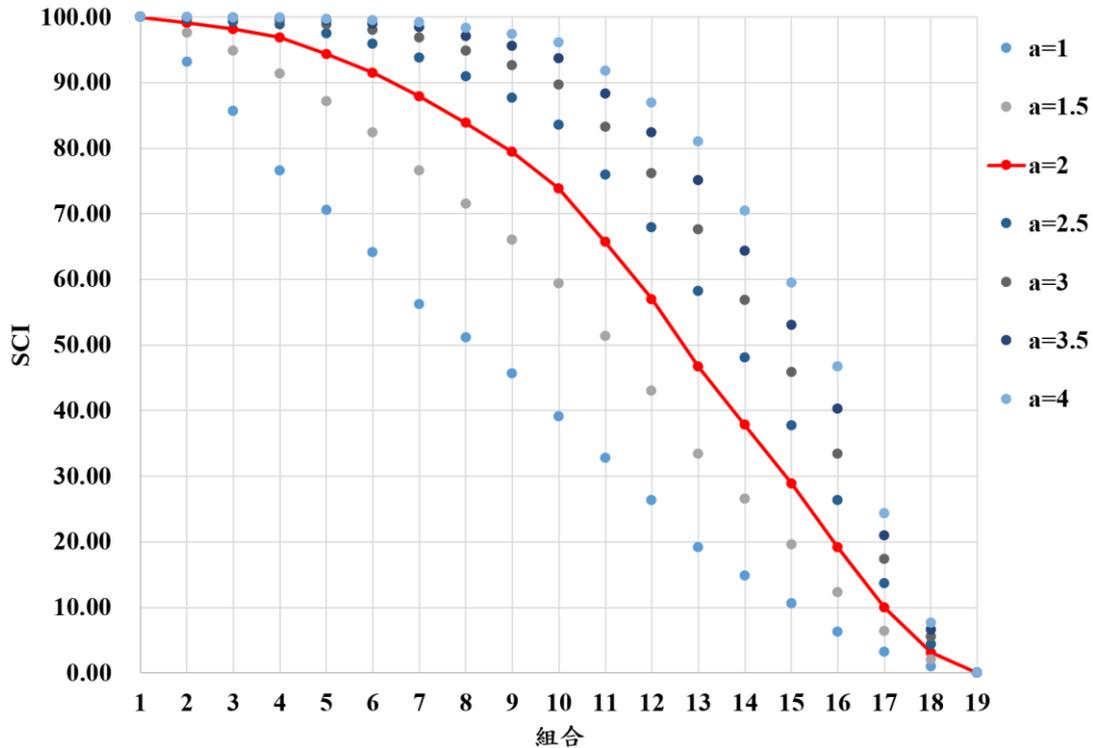


圖 3.2 指數 a 與 SCI 對照圖

表 3-15 SCI 級距分數

類別	分數區間
良好	$100 > \text{SCI} \geq 95$
輕微	$95 > \text{SCI} \geq 85$
中等	$85 > \text{SCI} \geq 60$
嚴重	$\text{SCI} < 60$

RI<sub>s</sub> 評估之部分，分為評估項目選用、啟動評估條件及評估方式三部分進行說明：

(一) 評估項目選用

著重在是否存在造成結構破壞之因素，在「公路橋梁耐震評估與補強設計規範」中針對橋梁耐震能力提供「落橋評估檢查表」及「強度韌性評估檢查表」，本研究將「落橋評估檢查表」之評估項目列於表 3-16，「強度韌性評估檢查表」之評估項目列於表 3-17，思考能否利用現有 DER&U 定期檢測及橋梁管理系統中之資料進行評估，於表 3-16 及表 3-17 中說明是否列為 RI<sub>s</sub> 之評估項。

除參考「公路橋梁耐震評估與補強設計規範」外，影響結構安全之因素尚有腐蝕環境對鋼筋之危害，交通部運輸研究所運輸技術研究中心長期對臺灣地區進行大氣腐蝕劣化因子調查，並建立金屬腐蝕速率分類表，分為 C1、C2、C3、C4、C5 及 CX 共六個等級，見表 3-18。每年發布之「臺灣大氣腐蝕劣化因子調查研究資料年報」中均有提供碳鋼年腐蝕速率 ISO 分類圖，如圖 3.3 所示。於橋梁管理系統中，將橋梁之 GPS 座標與腐蝕速率 ISO 分類圖進行套疊，便得到各橋之碳鋼腐蝕速率分類。若橋梁之混凝土發生裂縫或剝落，而又處於 C5 或 CX 環境中，內部鋼筋較容易銹蝕，故將橋梁之碳鋼金屬腐蝕速率為 C5 或 CX 列為 RI<sub>s</sub> 之評估項。

表 3-16 公路橋梁耐震評估檢查表-落橋評估項目

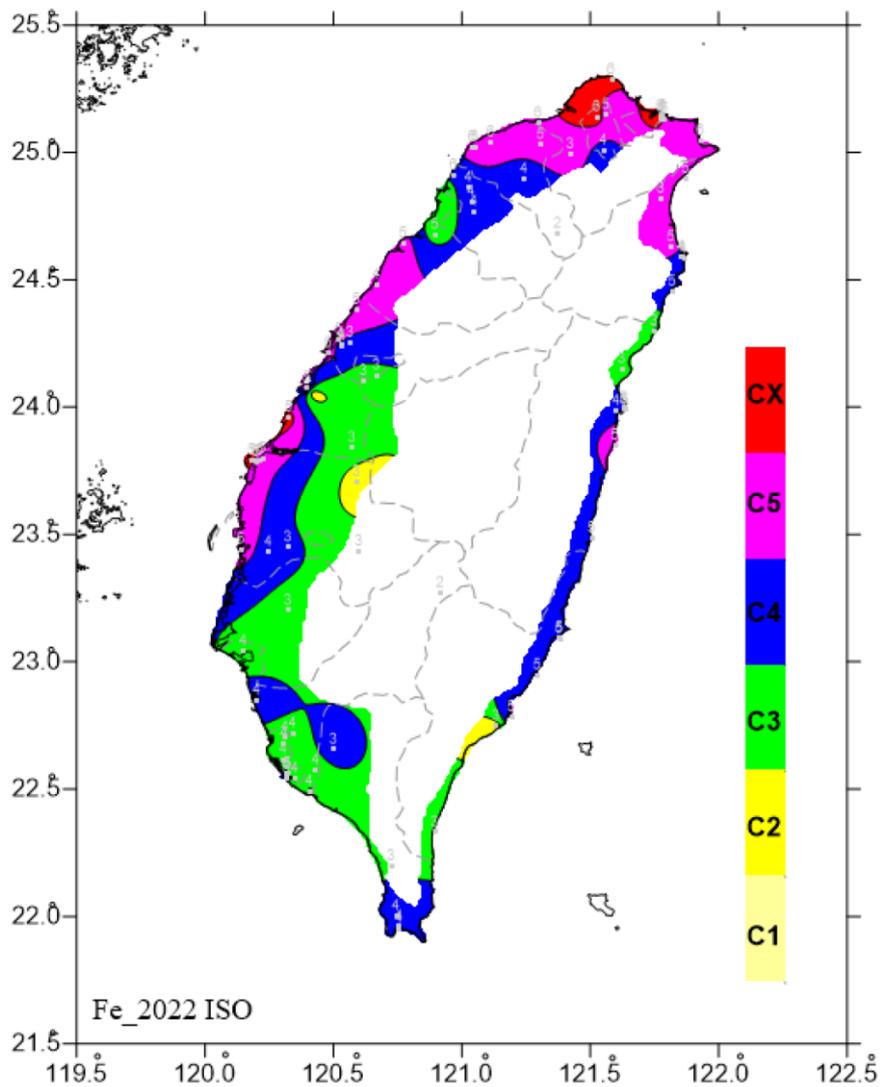
項次	項目	配分	是否採用及理由
G101	是否為第一類活動斷層近域	8	採用。若斷層發生錯動，附近橋梁受地震力與產生之位移可能不小，增加落橋之可能性。可利用橋梁管理系統中橋梁所在縣市及區鄉，對照耐震規範表 2-2 之鄰近斷層進行判斷。
G102	地盤類別	4	採用。地震發生時，軟弱地盤之加速度會放大，增加落橋之可能性。可利用橋梁管理系統中地盤種類欄位進行判斷。
G103	相鄰橋墩間地表土質變化	2	不採用。目前橋梁管理系統中無土質相關資料。
G104	液化可能性	6	採用。地震時若造成土壤液化，橋墩基礎可能發生沉陷、位移或傾斜，造成落橋。可利用橋梁管理系統中土壤液化潛勢欄位進行判斷。
G105	相鄰兩振動單位結構系統差異	8	不採用。目前橋梁管理系統中無振動單元資料。
G106	外懸梁	2	不採用。目前橋梁管理系統中無是否為外懸梁之資料。
G107	梁端與橋墩或橋台之夾角	4	不採用。目前橋梁管理系統中無梁端與橋墩或橋台夾角值。
G108	縱坡坡度	2	不採用。目前橋梁管理系統中無橋梁縱坡坡度。
G109	曲線橋	4	不採用。目前橋梁管理系統中無橋梁曲率半徑。
G110	基礎裸露程度	20	調整後採用。耐震規範中之計算需有基礎型式、樁基礎斷面直徑、基礎設計長度及容許裸露長度，而目前橋梁管理系統中，多數橋梁之基礎型式及基礎長度均未知，因此本研究將此項調整為下列 2 項： 1.橋台或橋墩基礎型式不詳（含未填） 2.橋台或橋墩基礎深度不詳（含未填）
G111	支承狀況	4	不採用。在選擇 SCI 使用構件時已排除支承。
G112	防落長度	20	不採用。目前橋梁管理系統中無「規範防落長度」，相關資料亦難以計算各橋墩之「規範防落長度」。
G113	防落設施	12	不採用。目前橋梁管理系統中之防落設施資料無法判斷是否為車行向，或與車行方向垂直。
G114	其他異常現象	4	不採用。無特定判斷標準。

表 3-17 公路橋梁耐震評估檢查表-強度韌性評估項目

項次	項目	配分	是否採用及理由	
G201	是否為第一類活動斷層近域	8	採用。同表 3-16。	
G202	地盤類別	6	採用。同表 3-16。	
G203	液化可能性	6	採用。同表 3-16。	
G204	梁端與橋墩或橋台之夾角	4	不採用。目前橋梁管理系統中無梁端與橋墩或橋台夾角值。	
G205	橋柱或壁式橋墩高深比	6	不採用。目前橋梁管理系統中無橋墩深度及寬度。	
G206	振動單元中最高墩(柱)與最矮墩(柱)柱高之比值	4	不採用。目前橋梁管理系統中無振動單元資料。	
G207	橋柱或壁式橋墩靜不定度	6	不採用。目前橋梁管理系統中無橋墩靜不定度。	
G208	基礎裸露程度	24	調整後採用。同表 3-13。	
G209	一般橋柱	柱底主筋搭接與否	8	不採用。目前橋梁管理系統中無主筋搭接資料。
G210		塑鉸區圍束箍筋細部	8	不採用。目前橋梁管理系統中無塑鉸區圍束箍筋細部資料。
G211		主筋斷點與箍筋細部	4	不採用。目前橋梁管理系統中無主筋斷點與箍筋細部資料。
G212		橋柱與基礎劣化程度	8	調整後採用。橋墩及橋墩劣化會影響其強度與韌性，耐震規範規範中依劣化程度給予不同評分，本研究著重在是否為顯著風險，故將此項調整為「墩柱與基礎嚴重劣化」。
G209	壁式橋墩	底部主筋搭接與否	6	不採用。目前橋梁管理系統中無主筋搭接資料。
G210		縱、橫向鋼筋比與細部	8	不採用。目前橋梁管理系統中無縱、橫向鋼筋比與細部資料。
G211		主筋斷點與箍筋細部	6	不採用。目前橋梁管理系統中無主筋斷點與箍筋細部資料。
G212		橋柱與基礎劣化程度	8	調整後採用。同一般橋柱。
G209	鋼橋柱	橋柱板之寬厚比	8	不採用。鋼結構橋梁非本研究範圍。
G210		縱向加勁板寬厚比	6	不採用。鋼結構橋梁非本研究範圍。
G211		人孔位置	6	不採用。鋼結構橋梁非本研究範圍。
G212		橋柱焊接細部	8	不採用。鋼結構橋梁非本研究範圍。
G213	支承狀況與其他異常現象	8	不採用。在選擇 SCI 指標使用構件時已排除支承。	

表 3-18 金屬腐蝕速率分類

等級	說明
C1	腐蝕性非常低
C2	腐蝕性低
C3	腐蝕性中等
C4	腐蝕性高
C5	腐蝕性非常高
CX	腐蝕性極端高



圖片來源：交通部運輸研究所運輸技術研究中心

圖 3.3 碳鋼年腐蝕速率 ISO 分類圖（2022 年）

另一造成鋼筋腐蝕之重要因素為距海之遠近，依「公路橋梁設計規範」第十二章耐久性設計，海洋鹽害環境作用分為三個等級，依離海岸的距離可分為極嚴重鹽害區、嚴重鹽害區及中度鹽害區三種等級，如表 3-19 所示。於橋梁管理系統中，將橋梁之 GPS 座標與海岸線圖層進行套疊，便得到各橋距離海岸線之距離。若橋梁之混凝土發生裂縫或剝落，而又處於極嚴重鹽害區或嚴重鹽害區，內部鋼筋較容易銹蝕，故將橋梁離海岸 300 公尺以內列為 RI<sub>S</sub> 之評估項。

表 3-19 海洋鹽害環境下作用等級

環境作用等級	離海岸的距離
極嚴重鹽害區	海水中飛沫區
嚴重鹽害區	離海岸 300 公尺以內之區域
中度鹽害區	離海岸 300 公尺至 3 公里以內之區域

## (二) 啟動評估條件

透過專家訪談，大部分專家均認同，當橋梁有劣化時，才需評估環境因子可能帶來之風險，從結構安全之角度來看，若主要構件出現結構裂縫或鋼筋外露，代表承受應力之能力降低，同時，若處於高腐蝕環境，則鋼筋銹蝕之可能性及速率大幅增加；若橋台或橋墩基礎發生裸露，代表穩定性及乘載力降低，當地震發生時，再加上地盤軟落、土壤液化等環境因素，發生落橋之可能性會增高。因此本研究提出兩個評估 RI<sub>S</sub> 之啟動條件：(1) 橋台或橋墩基礎裸露，及 (2) 主要構件（包括橋台、橋墩、主梁及橋面板）結構裂縫或鋼筋外露。表 3-20 將 RI<sub>S</sub> 之啟動條件及評估項目一併列出，其中橋梁是否位於碳鋼金屬腐蝕速率為 C5 或 CX 區域，及是否離海岸 300 公尺以內同屬腐蝕環境，故列為同一項。

表 3-20 RIs 之啟動條件及評估項目

啟動條件		
項次	項目	判斷方式
A1-1	橋台或橋墩基礎裸露	依定期檢測資料中橋台或橋墩基礎之劣化類型
A1-2	主要構件結構裂縫或鋼筋外露	依定期檢測資料中橋台、橋墩、主梁或橋面板之劣化類型
評估項目		
項次	項目	判斷方式
A2-1	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	依橋梁管理系統中橋梁基本資料
A2-2	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	依橋梁管理系統中橋梁基本資料
A2-3	墩柱與基礎嚴重劣化	依定期檢測資料中橋墩或橋墩基礎 $D \geq 3$
A2-4	第一類活動斷層近域	依 110 年「公路橋梁耐震評估與補強設計規範」表 2-2
A2-5	地盤類別為臺北盆地、第三類地盤或不詳	依橋梁管理系統中橋梁基本資料
A2-6	土壤液化潛勢為高	依橋梁管理系統中橋梁基本資料
A2-7	「破鋼金屬腐蝕速率為 C5 或 CX」或「離海岸 300 公尺以內」	依橋梁管理系統中橋梁基本資料

### (三) 評估方式

許多橋梁安全快速評估表，例如「公路橋梁耐震評估與補強設計規範」中「落橋評估檢查表」及「強度韌性評估檢查表」，均對不同評估項目給予配分，再依總分判斷屬何級距，然此方式易產生當評估項目一多，單一項目狀況雖嚴重，但對結果卻不大有影響，另外，本研究僅利用 DER&U 定期檢測紀錄及橋梁管理系統中之基本資料進行評估，本質上較接近初步篩選，因此採取依符合越多評估項目，風險評等越高之方式。對照表 3-20 所列項目，依下列方式進行 RIs 之評估：

1. 未達啟動條件，即 A1-1 及 A1-2 均未滿足時，RIs=低。
2. 僅達 A1-1 之啟動條件時，視 A2-1 至 A2-6 滿足項目數：
  - (1) 1 項以下 RIs=低。
  - (2) 2~3 項 RIs=中。
  - (3) 4 項以上 RIs=高。
3. 僅達 A1-2 之啟動條件時，視 A2-3 至 A2-7 滿足項目數：

- (1) 1 項以下  $RI_S$ =低。
  - (2) 2~3 項  $RI_S$ =中。
  - (3) 4 項以上  $RI_S$ =高。
4. A1-1 及 A1-2 啟動條件均達到時，視 A2-1 至 A2-7 滿足項目數：
- (1) 1 項以下  $RI_S$ =低。
  - (2) 2~3 項  $RI_S$ =中。
  - (3) 4 項以上  $RI_S$ =高。

### 3.3.5 耐洪安全評等

耐洪安全評等分為 I~IV 級（便於與「整橋風險評估」等級對應），I 代表橋梁在耐洪安全方面狀況良好，IV 代表橋梁在耐洪安全方面堪慮，狀況屬嚴重，如表 3-21 所示。

表 3-21 耐洪安全評等分級

等級	說明
I	橋梁耐洪安全狀況良好。
II	橋梁耐洪安全狀況尚可。
III	橋梁耐洪安全狀況較差。
IV	橋梁耐洪安全狀況嚴重。

從風險角度來評估橋梁之耐洪安全，本研究認為應分為兩部分，其一為橋梁耐洪相關構件之狀況，另一為可能造成橋梁因沖刷而破壞之因素。針對耐洪相關構件之狀況，本研究提出一「耐洪性指標（Flood Resistant Capacity Index，簡稱 FCI）」，利用定期檢測紀錄中相關構件之 DER&U 值計算而得；針對可能造成橋梁因沖刷而破壞之因素，本研究提出一「耐洪安全風險指標（Risk Index for Flood Resistant，簡稱  $RI_F$ ）」，利用定期檢測紀錄中之劣化狀態及橋梁管理系統中之基本資料進行評估。再利用表 3-22 之耐洪安全橋況與風險矩陣，決定耐洪安全評等。

表 3-22 耐洪安全橋況與風險矩陣

		RI <sub>F</sub>		
		低	中	高
FCI	良好	I	I	II
	輕微	II	II	III
	中等	II	III	IV
	嚴重	IV	IV	IV

當 FCI 為良好時，代表橋梁耐洪相關構件狀況不錯，雖然可能存在造成橋梁破壞之因素，即使 RI<sub>F</sub> 結果為高，整體而言耐洪安全狀況應屬尚可，耐洪安全評等為 II，而 RI<sub>F</sub> 結果為中、低時，耐洪安全評等均為 I。

當 FCI 為輕微時，代表橋梁耐洪相關構件有零星之劣化，若存在造成橋梁沖刷破壞之因素較多，即 RI<sub>F</sub> 為高，已發生之劣化易日趨嚴重，建議進行適當之維修，或調高檢測頻率，因此耐洪安全評等為 III，而造成橋梁沖刷破壞之因素較少時，即 RI<sub>F</sub> 為中或低時，由於橋梁雖有劣化但不嚴重，可考慮進行預防性維修，耐洪安全評等為 II。

當 FCI 為中等時，代表橋梁耐洪相關構件已有一定程度之劣化，若存在造成橋梁沖刷破壞之因素較多，即 RI<sub>F</sub> 為高，橋梁損毀之可能性也隨之提高，因此耐洪安全評等為 IV，而造成橋梁沖刷破壞之因素中等時，即 RI<sub>F</sub> 為中，耐洪安全評等為 III，當 RI<sub>F</sub> 為低時，耐洪安全評等為 II。

當 FCI 為嚴重時，代表橋梁耐洪相關構件已相當差，甚至出現 D=4 且 R=4 之嚴重劣化，此時無論 RI<sub>F</sub> 為低或高，橋梁均不安全，因此耐洪安全評等為最差之 IV。

#### (一) FCI 計算方式

FCI 之計算公式如式[3-5]所示，與 SCI 類似，均從 CI 之計算公式改良而來。

$$FCI = \left( \frac{\sum_{i=1}^y (CS_i \times I_i)}{\sum_{i=1}^y I_i} \right)^b \div 100^{(b-1)} \quad \text{式[3-5]}$$

公式中之  $CS_i$  為部位狀態指標 (Component State)，依循 SCI 之模式，同樣採用三大部位，分別為「河道」、「護床工」及「基礎及保護設施」，與計算 SCI 相同，部位之  $CS_i$  取所屬構件中  $ES_i$  最小者為代表，見式 [3-4]，若  $ES_i$  相同時，取  $I_i$  高者為代表。FCI 計算用部位所屬構件如表 3-23 所示，未來納入特殊橋時，僅需將特殊橋之構件加入所屬部位即可，式 [3-5] 不須異動。式 [3-5] 與 SCI 之式 [3-3] 同樣採  $I_i$  取代  $W_i$ ，亦將加權後之分數增加一指數  $b$  再除  $100^{(b-1)}$ 。

表 3-23 FCI 計算用部位及所屬構件

NO	部位	所屬構件	備註
1	河道	河道	
2	護床工	護床工	
3	基礎及保護設施	橋台基礎、橋墩基礎、橋墩/橋基保護設施	未來加入特殊橋時應可增加橋塔基礎

(二) 指數  $a$ 、 $b$  與 FCI 分數級距訂定

指數  $a$  在  $D=1$  及  $D$ 、 $R$  均為 4 時對  $ES_{ij}$  無影響 (當  $D=1$  時  $ES_{ij}=100$ ，當  $D$ 、 $R$  均為 4 時  $ES_{ij}=0$ )，因此先將  $a$  設為 1，測試不同  $b$  值，在「河道」、「護床工」及「基礎及保護設施」其中一部位  $D$ 、 $R$  均為 4 時，FCI 之分數變化，表 3-24 中「河道」部位之構件即「河道」( $I_i=1.968$ )，「護床工」部位之構件即「護床工」( $I_i=1.883$ )，「基礎及保護設施」則以「橋台基礎」( $I_i=3.494$ ) 為代表，本研究認為當任一部位  $D$ 、 $R$  均為 4 時，即使其他部位均為良好，FCI 分數應在 60 以下，由表 3-24 可知，當  $b=2$  時以上時即可滿足此一需求。

表 3-24 指數  $b$  與 FCI 對照表

組合	河道 (河道)		護床工 (護床工)		基礎及保護設施 (橋台基礎)		FCI ( $a=1$ )						
	D	R	D	R	D	R	b=1	b=1.5	b=2	b=2.5	b=3	b=3.5	b=4
一	4	4	1		1		73.21	62.64	53.59	45.85	39.23	33.57	28.72
二	1		4	4	1		74.36	64.13	55.30	47.69	41.12	35.46	30.58
三	1		1		4	4	52.43	37.96	27.49	19.90	14.41	10.44	7.56

再將 b 設為 2，測試在「河道」、「護床工」及「基礎及保護設施」之 19 種 DR 值組合時，不同 a 值所對應之 FCI，表 3-25 為不同 a 值與 FCI 對照表，圖 3.4 為不同 a 值與 FCI 對照圖。表 3-25 中「河道」、「護床工」及「基礎及保護設施」部位之代表構件同表 3-24。

本研究將 FCI 分為「良好」、「輕微」、「中等」及「嚴重」四個級距，針對「良好」，可接受之最差狀態為三部位均為 D=2 且 R=1；針對「輕微」，可接受之最差狀態為三部位均為 D=2 且 R=2；針對「中等」，可接受之最差狀態為一個部位達 D=3 且 R=3，其餘均為 D=3 且 R=2，若兩個部位達 D=3 且 R=3 即屬於「嚴重」。當 a=2 時，「良好」之 FCI 下界可設為 95 分，「輕微」之 FCI 下界可設為 85 分，「中等」之 FCI 下界可設為 60 分，FCI 各級距數值列於表 3-26。綜上，本研究建議式 [3-5] 中之 a 及 b 均設定為 2。

表 3-25 指數 a 與 FCI 對照表

組合	河道		護床工		基礎及保護設施		FCI (b=2)						
	D	R	D	R	D	R	a=1	a=1.5	a=2	a=2.5	a=3	a=3.5	a=4
1	1		1		1		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2	2	1	1		1		93.41	97.65	99.16	99.70	99.90	99.96	99.99
3	2	1	2	1	1		87.32	95.42	98.37	99.42	99.80	99.93	99.97
4	2	1	2	1	2	1	76.56	91.36	96.90	98.90	99.61	99.86	99.95
5	2	2	2	1	2	1	70.81	87.26	94.44	97.53	98.88	99.48	99.76
6	2	2	2	2	2	1	65.52	83.44	92.12	96.23	98.18	99.12	99.57
7	2	2	2	2	2	2	56.25	76.56	87.89	93.85	96.90	98.44	99.22
8	3	2	2	2	2	2	51.34	71.73	84.01	91.02	94.95	97.15	98.38
9	3	2	3	2	2	2	46.85	67.26	80.38	88.36	93.11	95.91	97.57
10	3	2	3	2	3	2	39.06	59.35	73.85	83.52	89.73	93.65	96.08
11	3	3	3	2	3	2	33.04	51.68	65.98	76.28	83.49	88.47	91.91
12	3	3	3	3	3	2	27.74	44.83	58.86	69.66	77.72	83.66	88.00
13	3	3	3	3	3	3	19.14	33.42	46.73	58.17	67.57	75.09	80.98
14	4	3	3	3	3	3	15.00	26.74	38.15	48.41	57.26	64.70	70.89
15	4	3	4	3	3	3	11.51	21.05	30.75	39.91	48.18	55.49	61.86
16	4	3	4	3	4	3	6.25	12.28	19.14	26.30	33.42	40.28	46.73
17	4	4	4	3	4	3	3.35	6.58	10.26	14.10	17.91	21.59	25.04
18	4	4	4	4	4	3	1.41	2.78	4.33	5.95	7.56	9.11	10.57
19	4	4	4	4	4	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

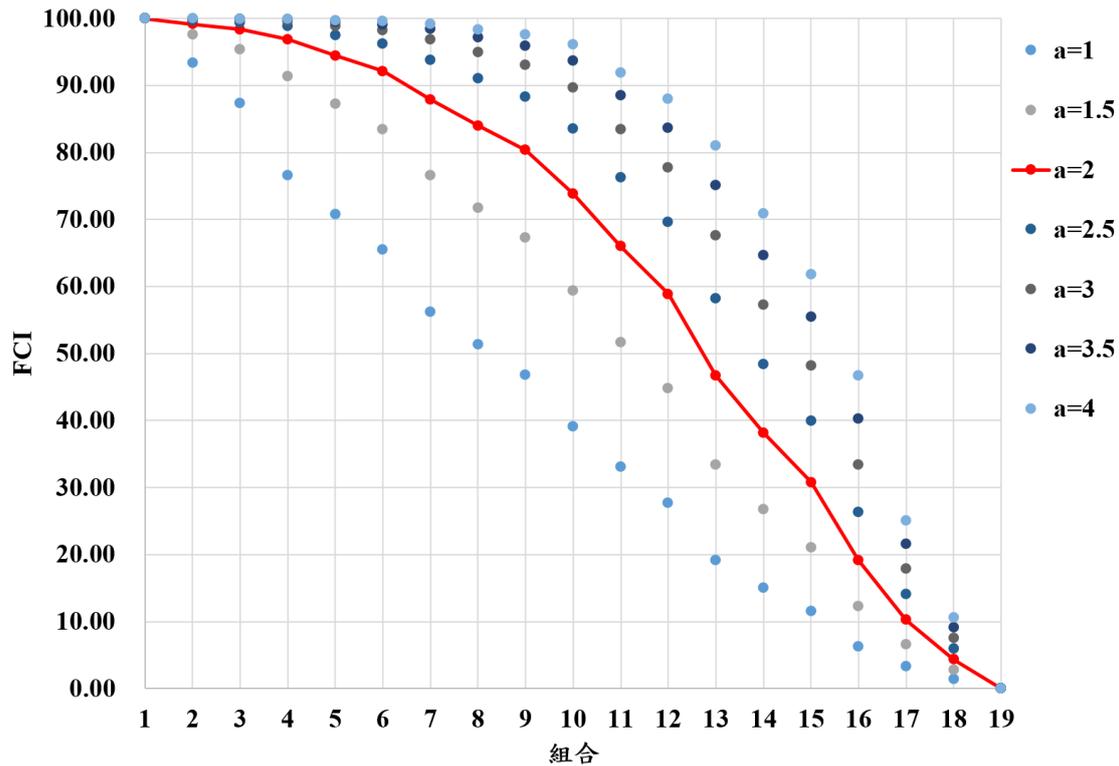


圖 3.4 指數 a 與 FCI 對照圖

表 3-26 FCI 級距分數

類別	分數區間
良好	$100 > FCI \geq 95$
輕微	$95 > FCI \geq 85$
中等	$85 > FCI \geq 60$
嚴重	$FCI < 60$

RI<sub>F</sub> 評估之部分，分為評估項目選用、啟動評估條件及評估方式三部分進行說明：

(一) 評估項目選用

著重在是否存在造成沖刷破壞之因素，在交通部運輸研究所運輸技術研究中心之「跨河橋梁安全評估之研究」中，有回顧並表列出公路局之「公路橋梁耐洪能力初步評估表」評估項目，本研究將該些評估項目列於表 3-27，分析能否利用現有 DER&U 定期檢測及橋梁管理系統中之資料進行評估，亦於表 3-27 中說明是否列為 RI<sub>F</sub> 之評估項。

表 3-27 公路橋梁耐洪能力初步評估表評估項目

項次	項目	配分	是否採用及理由
1	近年來主河道變遷情形	10	採用。可利用定期檢測河道之劣化類型是否填寫「河道沖淤或變遷」進行判斷。
2	河川整治辦理情形	4	不採用。以目前橋梁管理系統中之資料難以正確判斷河川是否有整治。
3	近年內主河道河床下降情形	10	不採用。以目前橋梁管理系統中之資料難以正確判斷河床是否下降。
4	鄰近有無採砂	10	採用。可利用定期檢測河道之劣化類型是否填寫「上下游開採砂石」進行判斷。
5	上游攔河堰	3	調整後採用。依審查委員意見，將下游攔河堰納入，故將此項調整為「上下游 500 公尺內是否有攔河堰」，可利用橋梁管理系統中「上游 500 公尺構造物」及「下游 500 公尺構造物」欄位填寫內容判斷。
6	上游橋梁；下游側具束縮河道之其他構造物	4	調整後採用。目前橋梁管理系統有上、下游 500 公尺構造物，可判斷上、下游側是否有橋梁，但下游側構造物是否造成河道束縮較難從系統資料判斷，故將此項調整為「上下游 500 公尺內是否有橋梁」。
7	基礎型式	3	調整後採用。評估表原本為判斷屬淺基礎、基礎攢入深度 $\leq 10$ 公尺或具深基礎，但目前橋梁管理系統中，多數橋梁之基礎型式及基礎長度均未知，亦屬潛在風險，因此本研究將此項調整為下列 2 項： 1. 「橋台或橋墩基礎型式不詳（含未填）或為直接基礎」 2. 「橋台或橋墩基礎深度不詳（含未填）或基礎深度未達 10 公尺」
8	基礎裸露程度	10	調整後採用。評估表依裸露程度給予不同評分，本研究僅針對可能造成橋梁沖刷損毀之因子進行評估，故將此項調整為「基礎嚴重裸露」，利用定期檢測紀錄中，橋台基礎或橋墩基礎是否有 $D \geq 3$ 進行判斷
9	本河川附近其他橋梁有無沖刷問題	3	不採用。以目前橋梁管理系統中之資料難以判斷附近橋梁是否有沖刷問題。
10	梁底高程	4	採用。可利用橋梁管理系統中橋台及橋墩「支程高程」、「計畫洪水位」及「計畫堤頂高程」判斷。
11	阻水比之效應	8	不採用。目前橋梁管理系統中無阻水比相關資料。
12	橋墩(基)方向與河川流向間之	4	不採用。目前橋梁管理系統中無橋墩(基)

項次	項目	配分	是否採用及理由
	角度		方向與河川流向之角度。
13	河床軟岩之風化沖蝕	5	不採用。目前橋梁管理系統中無河床軟岩之風化沖蝕資料。
14	具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在沖刷因素	15	調整後採用。可利用定期檢測河道之劣化類型是否填寫「堤防沖刷或侵蝕」，以及護床工毀損造成向源侵蝕(依規範，此時 DRU 均為 4) 進行判斷。
15	其他會影響橋梁沖刷穩定之(異常)現象	7	不採用。無特定判斷標準。

## (二) 啟動評估條件

透過專家訪談，大部分專家均認同，當橋梁有劣化時，才需評估環境因子可能帶來之風險，從耐洪安全之較度來看，若橋台或橋墩基礎出現裸露，代表橋梁有沖刷之風險，因此本研究將橋台或橋墩基礎裸露設為評估  $RI_s$  之啟動條件。表 3-28 將  $RI_F$  之啟動條件及評估項目一併列出。

表 3-28  $RI_F$  之啟動條件及評估項目

啟動條件		
項次	項目	判斷方式
B1-1	橋台或橋墩基礎裸露	依定期檢測資料中橋台或橋墩基礎之劣化類型
評估項目		
項次	項目	判斷方式
B2-1	基礎嚴重裸露	依定期檢測資料中橋台基礎或橋墩基礎 $D \geq 3$
B2-2	河道變遷	依定期檢測資料中河道之劣化類型
B2-3	鄰近有採砂	依定期檢測資料中河道之劣化類型
B2-4	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)或為直接基礎	依橋梁管理系統中橋梁基本資料
B2-5	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)或基礎深度未達 10 公尺	依橋梁管理系統中橋梁基本資料
B2-6	梁底高程不足	依橋梁管理系統中橋梁基本資料
B2-7	上下游 500 公尺內是否有攔河堰	依橋梁管理系統中橋梁基本資料
B2-8	上下游 500 公尺內是否有橋梁	依橋梁管理系統中橋梁基本資料
B2-9	具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在因素	依定期檢測資料中河道及護床工之劣化類型

### (三) 評估方式

與  $RI_s$  同樣採取依符合越多評估項目，風險評等越高之方式。對照表 3-28 所列項目，依下列方式進行  $RI_F$  之評估：

1. 未達啟動條件，即 B1-1 未滿足時， $RI_F$ =低。
2. 達 B1-1 啟動條件時，視 B2-1 至 B2-9 滿足項目數：
  - (4) 1 項以下  $RI_F$ =低。
  - (5) 2~3 項  $RI_F$ =中。
  - (6) 4 項以上  $RI_F$ =高。

## 3.4 小結

本研究之「整橋風險評估」是基於「公路橋梁檢測及補強規範」對橋梁管理作為提供建議，評估結果應可作為機關進行橋梁管理決策之參考。本研究使用定期檢測紀錄及橋梁管理系統中之基本資料進行評估，評估結果分為 I~IV，共四個等級，I 為良好、II 為尚可、III 屬較差、IV 則為嚴重。考量臺灣複合性災害區域之屬性，橋梁損毀之主要原因不外乎地震及基礎沖刷，故本研究提出之「整橋風險評估」結果，是由「結構安全評等」（分為 I~IV）及「耐洪安全評等」（分為 I~IV）中取較差者為代表。「結構安全評等」由「結構性指標（SCI）」及「結構安全風險指標（簡稱  $RI_s$ ）」組成之結構安全橋況與風險矩陣決定，「耐洪安全評等」則由「耐洪性指標（FCI）」及「耐洪安全風險指標（ $RI_F$ ）」組成之耐洪安全橋況與風險矩陣決定。



## 第四章 案例評估橋梁檢測及評估結果

### 4.1 案例評估橋梁檢測

#### 4.1.1 案例評估橋梁篩選

本研究從「車行橋梁管理資訊系統」中選取 10 座橋梁作為案例評估橋梁，由於案例評估橋梁分屬不同管理機關，其檢測廠商及檢測年度均不同，為求一致性，故本研究針對這 10 座橋派員實地進行檢測，並以此檢測結果進行整橋風險評估。

10 座案例評估橋梁，依結構型式區分，3 座為板橋，7 座為梁式橋，如表 4-1 所示。利用「車行橋梁管理資訊系統」內最近一次定期檢測紀錄中，尋找主要構件不同劣化程度、跨越不同水域類別、有基礎裸露及無基礎裸露之橋梁。表 4-1 中「橋管系統中最近一次定檢主要構件狀態」為「車行橋梁管理資訊系統」中該橋未維修之主要構件 DRU 值，並非本研究實地檢測之評估結果，經本研究實地檢測後發現，部分橋梁有維修過之跡象，因此表 4-1 中所列主要構件狀態已非現狀。

表 4-1 案例評估橋梁列表

橋梁代號	結構型式	橋孔數	跨水/河類別	橋管系統中最近一次定檢主要構件狀態	橋管系統中最近一次定檢日期
01	板橋	1	縣市管河川	DRU 均 $\leq$ 2	2021-07-30
02	板橋	2	縣市管河川	D=3、R=2~3、U=2	2023-03-30
03	板橋	1	縣市管河川	DRU 均=3、基礎裸露	2023-05-04
04	梁式橋	3	縣市管河川	DRU 均 $\leq$ 2	2021-08-25
05	梁式橋	2	縣市管區排	DRU 均=3、基礎裸露	2022-03-15
06	梁式橋	3	縣市管河川	D=3、R=2~3、U=2、 基礎裸露	2023-04-06
07	梁式橋	3	縣市管區排	DRU 均=3	2023-03-23
08	梁式橋	3	中央管河川	D=4、R=3、U=3、 基礎裸露	2022-06-22
09	梁式橋	3	縣市管河川	D=4、R=3、U=3、 基礎裸露	2022-04-15
10	梁式橋	2	縣市管河川	DRU 均=4	2022-11-09

#### 4.1.2 案例評估橋梁目視檢測成果

本研究之檢測人員依「公路橋梁檢測及補強規範」中定期檢測之相關規定，及規範解說之劣化評等表操作，完成各橋之定期檢測紀錄，表 4-2 至表 4-11 重點整理出各橋主要構件之劣化照片及狀況說明。

表 4-2 為橋梁代號 01 之檢測結果，該橋僅有輕微損傷，如橋面板、橋台混凝土裂縫，護床工混凝土輕微破損等，主要構件劣化最高評等值 DRU 為 2,2,2，基礎位於水面下無法檢測，整體河道狀況良好，現場環境檢視無明顯風險因子。

表 4-2 橋梁主要構件劣化現象及評等值（橋梁 01）

損傷構件	S01 橋面板		損傷構件	護床工(A01 橋台處)	
劣化現象	混凝土細微裂縫、滲水		劣化現象	混凝土輕微破損	
D=2	R=2	U=2	D=2	R=1	U=1
					
損傷構件	A01 橋台		損傷構件	河道	
劣化現象	混凝土細微裂縫		劣化現象	無	
D=2	R=2	U=2	D=1	R	U
					
備註:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 主要構件劣化最高評等值 DRU = 2,2,2</li> <li>• 河道狀況良好</li> <li>• 現場環境無明顯風險因子</li> </ul>					

表 4-3 為橋梁代號 02 之檢測結果，該橋僅有輕微損傷，如橋台混凝土裂縫、橋面板混凝土剝落，鋼筋輕微外露等，主要構件劣化最高評等值 DRU 為 2,2,2，基礎位於水面下無法檢測，整體河道狀況良好，現場環境檢視無明顯風險因子。

表 4-3 橋梁主要構件劣化現象及評等值（橋梁 02）

損傷構件	A01 橋台		損傷構件	A01 橋台	
劣化現象	混凝土細微裂縫		劣化現象	混凝土剝落	
D=2	R=2	U=2	D=2	R=2	U=2
					
損傷構件	S02 橋面板		損傷構件	河道	
劣化現象	鋼筋輕微外露		劣化現象	無	
D=2	R=2	U=2	D=1	R	U
					
備註:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 主要構件劣化最高評等值 DRU = 2,2,2</li> <li>• 河道狀況良好</li> <li>• 現場環境無明顯風險因子</li> </ul>					

表 4-4 為橋梁代號 03 之檢測結果，該橋僅有些許明顯損傷劣化，如橋台混凝土明顯裂縫、橋面板混凝土剝落，鋼筋明顯外露且銹蝕，主要構件劣化最高評等值 DRU 為 3,3,3，橋台基礎位於水面下無法檢測，護床工及河道狀況良好，現場環境檢視無明顯風險因子。

表 4-4 橋梁主要構件劣化現象及評等值（橋梁 03）

損傷構件	A01 橋台		損傷構件	A01 橋台	
劣化現象	混凝土明顯裂縫		劣化現象	植生	
D=3	R=2	U=2	D=2	R=1	U=1
					
損傷構件	S02 橋面板		損傷構件	河道	
劣化現象	鋼筋明顯外露		劣化現象	無	
D=3	R=3	U=3	D=1	R	U
					
備註:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 橋面板鋼筋明顯外露、腐蝕，最高評等值 DRU = 3,3,3</li> <li>• 河道狀況良好</li> <li>• 現場環境無明顯風險因子</li> </ul>					

表 4-5 為橋梁代號 04 之檢測結果，該橋僅有輕微損傷，如橋台、橋墩滲水白華、主梁混凝土細微裂縫、橋面板混凝土剝落，鋼筋輕微外露等，主要構件劣化最高評等值 DRU 為 2,2,2，橋台基礎、橋墩基礎位於混凝土護坦護床工下無法檢測，護床工及河道狀況良好，現場環境檢視無明顯風險因子。

表 4-5 橋梁主要構件劣化現象及評等值（橋梁 04）

損傷構件	A01, A02 橋台		損傷構件	P01 橋墩/帽梁	
劣化現象	混凝土滲水、白華		劣化現象	混凝土滲水、白華	
D=3	R=1	U=1	D=2	R=1	U=1
					
損傷構件	主梁		損傷構件	橋面板	
劣化現象	混凝土細微裂縫		劣化現象	鋼筋輕微外露	
D=2	R=2	U=2	D=2	R=2	U=2
					
備註:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 主要構件劣化最高評等值 DRU = 2,2,2</li> <li>• 河道、護床工(混凝土護坦)狀況良好</li> <li>• 現場環境無明顯風險因子</li> </ul>					

表 4-6 為橋梁代號 05 之檢測結果，該橋狀況較差，主要構件有明顯損傷劣化，如橋台明顯裂縫，橋墩、主梁及橋面板混凝土剝落、鋼筋明顯外露等劣化情形，主要構件劣化最高評等值 DRU 為 3,3,3，橋台基礎、橋墩基礎位於混凝土護坦護床工下無法檢測，護床工及河道狀況良好，現場環境檢視無明顯風險因子。

表 4-6 橋梁主要構件劣化現象及評等值（橋梁 05）

損傷構件	A01, A02 橋台		損傷構件	P01 橋墩/帽梁	
劣化現象	混凝土明顯裂縫		劣化現象	鋼筋明顯外露	
D=3	R=2	U=3	D=3	R=3	U=3
					
損傷構件	主梁		損傷構件	河道	
劣化現象	鋼筋明顯外露		劣化現象	無	
D=3	R=3	U=3	D=1	R	U
					
備註:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 橋墩、主梁及橋面板多處鋼筋明顯外露，最高評等值 DRU = 3,3,3</li> <li>• 河道、護床工(混凝土護坦)狀況良好</li> <li>• 橋址位處 C5 腐蝕環境(內業查詢)，其餘現場環境無明顯風險因子。</li> </ul>					

表 4-7 為橋梁代號 06 之檢測結果，該橋僅有輕微損傷，如橋台、橋墩混凝土細微裂縫，橋面板混凝土細微裂縫、滲水白華，主梁混凝土剝落、鋼筋輕微外露等，主要構件劣化最高評等值 DRU 為 2,2,2，橋台基礎、橋墩基礎位於河床下方無法檢測，護床工、橋墩保護設施及河道狀況良好，僅 A02 引道保護設施有輕微掏空。橋址位處出海口沙灘高腐蝕環境，受潮汐影響橋墩有輕微沖刷情形。

表 4-7 橋梁主要構件劣化現象及評等值（橋梁 06）

損傷構件	A02 橋台		損傷構件	P02 橋墩/帽梁	
劣化現象	混凝土裂縫		劣化現象	混凝土裂縫	
D=2	R=2	U=2	D=2	R=2	U=2
					
損傷構件	橋面板		損傷構件	河道	
劣化現象	混凝土裂縫、白華		劣化現象	無	
D=2	R=2	U=2	D=1	R	U
					
備註:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 橋台、橋墩及橋面板混凝土裂縫，最高評等值 DRU = 2,2,2</li> <li>• 河道狀況良好</li> <li>• 橋址位處出海口沙灘高腐蝕環境</li> <li>• A02 引道保護設施有輕微掏空，受潮汐影響橋墩有輕微沖刷情形。</li> </ul>					

表 4-8 為橋梁代號 07 之檢測結果，該橋狀況較差，主要構件有明顯損傷劣化，如橋面板混凝土破碎、鋼筋外露，多數主梁腹板有大範圍混凝土剝離、剝落、鋼筋明顯外露銹蝕且斷面損失情形，主要構件劣化最高評等值 DRU 為 4,3,3。橋址位處出海口高腐蝕環境，河道嚴重淤積，橋台、橋墩帽梁、主梁底部均有藤壺攀附現象，且兩側人行道下方鋼製托架底部螺栓嚴重鏽蝕脹裂，推估漲潮時水位已達梁底。

表 4-8 橋梁主要構件劣化現象及評等值（橋梁 07）

損傷構件	A02 橋台		損傷構件	橋面板	
劣化現象	混凝土裂縫		劣化現象	混凝土破碎、鋼筋外露	
D=2	R=2	U=2	D=3	R=3	U=3
					
損傷構件	主梁		損傷構件	河道	
劣化現象	鋼筋外露、嚴重腐蝕		劣化現象	河道大範圍淤積	
D=4	R=3	U=3	D=3	R=2	U=2
					
備註:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 多數主梁腹板鋼筋外露、嚴重腐蝕，最高評等值 DRU = 4,3,3</li> <li>• 河道大範圍淤積</li> <li>• 橋址位處出海口高腐蝕環境</li> <li>• 橋台、橋墩帽梁、主梁底部均有藤壺攀附現象，且人行道下方鋼製托架底部螺栓嚴重鏽蝕脹裂，推估漲潮時水位已達梁底。</li> </ul>					

表 4-9 為橋梁代號 08 之檢測結果，該橋狀況較差，主要構件有明顯損傷劣化，如橋墩多處混凝土明顯裂縫，主梁及橋面板多處大面積混凝土剝落、鋼筋嚴重外露且銹蝕等，主要構件劣化最高評等值 DRU 為 4,3,3，橋台基礎、橋墩基礎位於河床下無法檢測，護床工、橋墩/橋基保護設施及河道狀況良好，現場環境檢視無明顯風險因子。

表 4-9 橋梁主要構件劣化現象及評等值（橋梁 08）

損傷構件	橋墩/帽梁		損傷構件	主梁	
劣化現象	混凝土裂縫		劣化現象	鋼筋明顯外露	
D=3	R=2	U=3	D=3	R=3	U=3
					
損傷構件	橋面板		損傷構件	河道	
劣化現象	大面積剝落、鋼筋外露		劣化現象	無	
D=4	R=3	U=3	D=1	R	U
					
備註:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 多數橋墩具混凝土裂縫；主梁鋼筋明顯外露；橋面板大面積剝落、鋼筋外露、腐蝕，最高評等值 DRU = 4,3,3</li> <li>• 河道、橋墩保護設施狀況良好</li> <li>• 橋址位處 CX 高腐蝕環境(內業查詢)，其餘現場環境無明顯風險因子。</li> </ul>					

表 4-10 為橋梁代號 09 之檢測結果，該橋狀況較差，主要構件有明顯損傷劣化，如橋墩擴展基腳露出，且裸露深度已達基腳底部，主梁混凝土剝落、鋼筋外露且銹蝕，橋面板滲水白華且有銹水流出等現象，主要構件劣化最高評等值 DRU 為 4,3,3，河道狀況良好。

表 4-10 橋梁主要構件劣化現象及評等值（橋梁 09）

損傷構件	A02 橋台		損傷構件	橋面板	
劣化現象	混凝土破損		劣化現象	滲水及白華且銹水流出	
D=2	R=2	U=2	D=3	R=2	U=2
					
損傷構件	主梁		損傷構件	橋墩基礎	
劣化現象	混凝土明顯裂縫		劣化現象	基礎裸露	
D=3	R=3	U=3	D=4	R=3	U=3
					
備註:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 橋墩擴展基腳露出，裸露深度已達基腳底部，最高評等值 DRU = 4,3,3</li> <li>• 橋址位處 CX 高腐蝕環境(內業查詢)</li> <li>• 主梁、橋面板有明顯之劣化現象；橋墩擴展基礎裸露至基腳底部，雖坐落於岩盤上且長年處於穩定狀態，然考量該橋橋齡為超過 50 年以上之老舊橋梁，結構性能及安全風險相對較高。</li> </ul>					

表 4-11 為橋梁代號 10 之檢測結果，現場各構件已有進行修復，整體橋況僅有輕微損傷，如橋台混凝土磨損、剝落，橋墩、主梁混凝土裂縫，橋面板鋼筋輕微外露等，主要構件劣化最高評等值 DRU 為 2,2,2，橋台基礎、橋墩基礎位於河床下方無法檢測，整體河道狀況良好，現場環境檢視無明顯風險因子。

表 4-11 橋梁主要構件劣化現象及評等值（橋梁 10）

損傷構件	橋台		損傷構件	橋墩/帽梁	
劣化現象	混凝土磨損、剝落		劣化現象	混凝土裂縫	
D=2	R=1	U=1	D=2	R=2	U=2
					
損傷構件	主梁		損傷構件	河道	
劣化現象	混凝土裂縫		劣化現象	無	
D=2	R=2	U=2	D=1	R	U
					
備註:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 橋梁構件多處已進行修復。</li> <li>• 主要構件劣化最高評等值 DRU = 2,2,2</li> <li>• 河道狀況良好</li> <li>• 現場環境無明顯風險因子。</li> </ul>					

### 4.1.3 檢測人員判定各橋整橋風險評估結果

為了探討本研究所提整橋風險評定模式計算結果之合理性，檢測人員依據現地目視檢測結果，包含劣化類型、DER&U 值及可能潛在的風險，綜合評定出 10 座橋梁狀況，過程中未使用公式及指標計算，最後依循本研究所提整橋評定模式給予 I~IV 之評等結果，作為與公式計算結果比對之用。

檢測人員進行整橋風險評等時，首先以各構件的劣化現象評等值，綜合評定現況橋梁劣化狀態屬「良好」、「輕微」、「中等」或「嚴重」。再依據橋梁基本資料、橋址現場環境條件及可能潛在的風險，綜合評定各橋  $RI_S$  及  $RI_F$  屬「低」、「中」或「高」。最後依據「結構安全橋況與風險矩陣」及「耐洪安全橋況與風險矩陣」模式決定橋梁屬 I~IV。下列以三座橋梁為例說明檢測人員整橋風險評定之過程：

#### (一) 橋梁代號 01 狀況評等

該橋現地目視檢測結果顯示，全橋各構件劣化程度評 D 值均  $\leq 2$ ，主構件劣化現象為橋面板及橋台裂縫，最嚴重之 DRU 評等值僅 2,2,2，因此評定 SCI 屬「輕微」；由於該橋為單跨板橋，且現場環境無明顯風險因子， $RI_S$  則評定屬「低」，依據「結構安全橋況與風險矩陣」對應之結構安全評等屬 II。

代號 01 之橋梁為跨水橋，河道狀況良好，兩側橋台處護床工僅有表面混凝土輕微破碎 ( $DRU=2,1,1$ )，評定 FCI 屬「良好」；由於河道中無落墩且河道狀況良好，橋台、護岸亦無沖刷現象及明顯風險因子， $RI_F$  評定為「低」，依據「耐洪安全橋況與風險矩陣」對應之耐洪安全評等屬 I。

綜合上述評等結果，橋梁代號 01 整橋風險評等屬等級「II：橋梁狀況尚可，尚未影響結構或耐洪性能。可考慮進行預防性維修」，對應本橋劣化現象，如橋面板裂縫且有滲水、白華，雖尚未影響結構安全，但基於耐久性考量，確實可考慮進行預防性維修。

## (二) 橋梁代號 03 狀況評等

該橋現地目視檢測結果顯示，全橋各構件劣化程度多屬輕微 (D=2)，僅橋台有混凝土結構裂縫 (DRU=3,2,2)，以及橋面板混凝土剝落、鋼筋明顯外露銹蝕，最嚴重之 DRU 評等值為 3,3,3，考量橋面板鋼筋外露銹蝕現象已明顯脹裂，因此評定 SCI 屬「中等」；該橋為單跨板橋，現場環境無明顯風險因子，RI<sub>S</sub> 則評定屬「低」，依據「結構安全橋況與風險矩陣」對應之結構安全評等屬 II。

該橋跨為跨水橋，河道及兩側橋台護床工狀況良好 (D=1)，故評定 FCI 屬「良好」；由於河道中無落墩且河道狀況良好，橋台、護岸亦無沖刷現象及明顯風險因子，RI<sub>F</sub> 評定為「低」，依據「耐洪安全橋況與風險矩陣」對應之耐洪安全評等屬 I。

綜合上述評等結果，橋梁代號 03 整橋風險評等屬等級「II：橋梁狀況尚可，尚未影響結構或耐洪性能。可考慮進行預防性維修」，對應本橋劣化現象，僅橋面板(單一區域)局部鋼筋外露且銹蝕屬較明顯之損傷劣化，雖尚未影響結構安全，但基於耐久性考量，確實可考慮進行預防性維修。

## (三) 橋梁代號 07 狀況評等

該橋現地目視檢測結果顯示，全橋多數主梁 (預力混凝土 I 型梁) 腹板有混凝土剝落、鋼筋明顯外露銹蝕之現象，最嚴重之 DRU 評等值達 4,3,3，因此評定 SCI 屬「嚴重」；該橋位處出海口，依據現場觀測發現，橋墩帽梁上緣、橋台上緣及主梁底部均有藤壺攀附現象，兩側拓寬人行道下方鋼製托架亦腐蝕嚴重，與主梁連接處螺栓脹裂，推估潮汐於漲潮時，水位已高達主梁位置，考量本橋主梁已明顯劣化，又為預力混凝土梁，故 RI<sub>S</sub> 評定為「高」，依據「結構安全橋況與風險矩陣」對應之結構安全評等屬 IV。

代號 07 之橋梁為 3 跨簡支梁跨水橋，河道嚴重淤積 (DRU=3,2,2)，範圍遍及所有橋跨，故評定 FCI 屬「中等」；考量河道嚴重淤積、潮汐漲潮時水位達主梁，雖位處出海口無沖刷疑慮，但近年受極端氣候影響，常有

強降雨等情形，水量大時仍可能影響上部結構，因此  $RI_F$  評定屬「中」，依據「耐洪安全橋況與風險矩陣」對應之耐洪安全評等屬 III。

綜合上述評等結果，橋梁代號 07 整橋風險評等屬等級「IV：對結構或耐洪性能造成嚴重影響。建議依橋況進行緊急處置或結構安全評估，經評估後採取適當之維修或補強，若難以有效維修或補強，或效益不高時，可考慮改建」。對應本橋劣化現象，由於橋址臨海環境，受到潮汐影響導致主要構件（含主梁）常有浸泡海水或屬飛沫區之高腐蝕條件，考量現況主梁已具明顯劣化，又屬預力結構系統，結構安全上確實具有較高的風險，建議經評估後，如橋址環境條件的改善、防蝕及耐久性改善等評估後，採取適當的修復或處置措施。

依據上述三座橋梁之評等判定步驟，各案例評估橋梁整橋風險評等結果如表 4-12 所示，可與 4.2 節依本研究所提之評估模式公式計算成果進行比較。

表 4-12 案例評估橋梁整橋風險評等結果（本研究檢測員）

橋梁代號	SCI 分類	RI <sub>s</sub> 分類	結構安全評等	FCI 分類	RI <sub>F</sub> 分類	耐洪安全評等	整橋風險評等
01	輕微	低	II	良好	低	I	II
02	輕微	低	II	良好	低	I	II
03	中等	低	II	良好	低	I	II
04	中等	低	II	良好	低	I	II
05	嚴重	中	IV	良好	低	I	IV
06	輕微	中	II	輕微	中	II	II
07	嚴重	高	IV	中等	中	III	IV
08	嚴重	高	IV	良好	低	I	IV
09	嚴重	高	IV	嚴重	中	IV	IV
10	中等	低	II	良好	低	I	II

#### 4.1.4 美國評等方法判定橋梁狀況結果

本研究嘗試以美國橋梁檢測評等方式（如 2.1 節所述），從表 4-1 之現地橋梁檢測清單中，挑選代號 06、07 及 10 共 3 座橋梁進行檢測及評估。對有納入整橋狀況分類（Bridge Condition Classification）評估之構件狀態（Element State）及部位狀況（Component Condition）進行評等與記錄，檢測紀錄與評等結果請詳附錄三。

以代號 07 橋梁為例進行說明，表 4-13 為代號 07 橋梁之構件劣化評等結果，該橋多數主梁（預力混凝土 I 型梁）腹板有混凝土剝落、鋼筋明顯外露銹蝕且有斷面損失情形，如圖 4.1 所示。依據美國鋼筋混凝土劣化缺陷評等表[12]，即表 2-1，鋼筋裸露有可量測的斷面損失，但均未達至結構檢視程度時，狀況型態評等值為 CS3，劣化範圍所佔主梁長度約 84.7 公尺，為本橋構件之主要劣化缺陷。

表 4-13 橋梁代號 07 美國評等方式構件狀況檢測結果

構件編號	構件描述	量測單位	總數	狀況型態				缺陷編號
				CS1	CS2	CS3	CS4	
12	Reinforced Concrete Deck 鋼筋混凝土橋面板	m <sup>2</sup>	629.8	626.8	0	3	0	
1080	Delamination/Spall/Patched Area 層隙/剝落/補丁	m <sup>2</sup>	3	0	0	3	0	1
109	Prestressed Concrete Open Girder 預力混凝土梁	m	295.8	204.4	0	91.4	0	
1080	Delamination/Spall 層隙/剝落	m <sup>2</sup>	6.7	0	0	6.7	0	2
1090	Exposed Rebar 鋼筋外露	m	84.7	0	0	84.7	0	3
155	Reinforced Concrete Floor Beam 鋼筋混凝土橫隔梁	M	76.9	75.6	1	0.3	0	
1080	Spall 剝落	m <sup>2</sup>	0.3	0	0	0.3	0	4
1130	Cracking (RC) 裂縫	m	1	0	1	0	0	5
220	Reinforced Concrete Pier Cap 鋼筋混凝土帽梁	m	19	18	1	0	0	
1130	Cracking (RC) 裂縫	m	1	0	1	0	0	6
215	Reinforced Concrete Abutment 鋼筋混凝土橋台	m	37.3	36.3	1	0	0	
1130	Cracking (RC) 裂縫	m	1	0	1	0	0	7



圖 4.1 橋梁代號 07 預力混凝土主梁鋼筋外露銹蝕情形(缺陷編號 03)

依據橋梁各構件現地劣化程度及範圍，參考表 2-4 美國聯邦公路總署的橋梁部位評分標準[14]，分別針對橋面板、上部結構、下部結構進行部位狀況評等。由表 4-13 檢測結果可見，橋面板有混凝土剝落破損之獨立的中等缺陷 (Isolated moderate defects)，對應表 2-4 美國聯邦公路總署的橋梁部位評分標準，其部位評等分數為 6，狀況為尚可 (Fair)；上部結構如前所述，多數主梁有鋼筋外露銹蝕且斷面損失情形，屬廣泛分布中等缺陷 (Widespread moderate defects)，部位強度及性能受到影響，其評等分數為 4，狀況為劣等 (Poor)；下部結構僅橋台及橋墩帽梁有一些混凝土裂縫，屬一些輕微缺陷 (Some minor defects)，部位評等分數為 7，狀況為良好 (Good)。

故依循全國橋梁清冊規範[14]所列之橋梁狀況分類 (Bridge Condition Classification) 一項，內容僅考慮橋面板、上部結構、下部結構，以及涵洞等 4 個部位評分，將評分 7~9 給予良好 (G) 編碼，評分 5~6 給予尚可 (F) 編碼，評分 0~4 給予劣等 (P) 編碼。整橋狀況分類係取上述部位評分最低分者 (如上部結構分數 4) 為該座橋梁狀況的代表，故代號 07 橋梁狀況分類為劣等 (P)。

為與本研究提出之耐洪安全評等進行比對，故依循美國河道狀況評分 (Channel Condition Rating) 及沖刷狀況評分 (Scouring Condition Rating)

標準進行評估，如表 2-8 至表 2-10 所示。代號 07 橋梁為 3 跨簡支梁跨水橋，河道嚴重淤積，範圍遍及所有橋跨，如圖 4.2 所示。依據表 2-9 河道缺陷嚴重程度評分指引，本橋河道淤積屬中等缺陷，由於分布範圍廣泛，故對應表 2-8 河道評分表準，河道狀況屬廣泛分布中等缺陷，評等分數為 4，狀況為劣等 (Poor)。沖刷狀況評等部分，由於該橋河道並無沖刷跡象，對應表 2-10 評等分數為 9。綜合上述評等結果，代號 07 橋梁依據美國方法評等之各項狀況分數彙整如表 4-14。



圖 4.2 橋梁代號 07 河道嚴重淤積情形

代號 06、07 及 10 之評等結果彙整如表 4-15，代號 06 橋梁之河道狀況評等為良好 (Good)，沖刷狀況評等為良好 (Good)，整橋狀況評等為尚可 (Fair)；代號 07 橋梁之河道狀況評等為劣等 (Poor)，沖刷狀況評等為良好 (Good)，整橋狀況評等為劣等 (Poor)；代號 10 橋梁之河道狀況評等為良好 (Good)，沖刷狀況評等為良好 (Good)，整橋狀況評等為尚可 (Fair)。

表 4-14 橋梁代號 07 各項目評等結果

項目編號	項目	分數編碼	狀況	描述
B.C.01	Deck Condition Rating 橋面板狀況評分	6	Satisfactory 符合需求	Isolated moderate defects 獨立中等缺陷
B.C.02	Superstructure Condition Rating 上部結構狀況評分	4	Poor 劣等	Widespread moderate defects Strength or performance of component is affected 廣泛分佈中等缺陷；部位強度及性能受到影響
B.C.03	Substructure Condition Rating 下部結構狀況評分	7	Good 良好	Some minor defects 一些輕微缺陷
B.C.04	Culvert Condition Rating 涵洞狀況評分	N.A.	N.A.	N.A.
B.C.09	Channel Condition Rating 河道狀況評分	4	Poor 劣等	Widespread moderate defects 廣泛分佈中等缺陷
B.C.10	Channel Protection Condition Rating 河道保護設施狀況評分	N.A.	N.A.	N.A.
B.C.11	Scour Condition Rating 沖刷狀況評分	9	N.A.	No scour 無沖刷
B.C.12	Bridge Condition Classification 橋梁狀況分類	P	Poor 劣等	Lowest condition rating 4 最低狀況分數 4

表 4-15 橋梁代號 06、07 及 10 以美國方式評等結果

橋梁代號	河道狀況評等	沖刷狀況評等	整橋狀況評等
06	Good	Good	Fair
07	Poor	Good	Poor
10	Good	Good	Fair

## 4.2 整橋風險評估結果

依第三章提出之整橋風險評估模式，使用案例評估橋梁之現地檢測結果，及案例評估橋梁在交通部「車行橋梁管理資訊系統」內之橋梁基本資料進行計算及評估，評估結果等級 II 有 5 座，等級 III 有 1 座，等級 IV 有 4 座，如表 4-16 所示，各橋之 SCI 及 FCI 計算詳表 4-17 至表 4-26，各橋之  $RI_S$  及  $RI_F$  評估詳表 4-27 至表 4-36。

表 4-16 案例評估橋梁整橋風險評等結果（公式計算）

橋梁代號	SCI 分數	SCI 分類	$RI_S$ 分類	結構安全評等	FCI 分數	FCI 分類	$RI_F$ 分類	耐洪安全評等	整橋風險評等
01	87.89	輕微	低	II	98.48	良好	低	I	II
02	87.89	輕微	低	II	100.00	良好	低	I	II
03	61.85	中等	中	III	100.00	良好	低	I	III
04	94.00	輕微	低	II	100.00	良好	低	I	II
05	46.73	嚴重	高	IV	92.03	輕微	中	II	IV
06	87.89	輕微	低	II	100.00	良好	低	I	II
07	49.82	嚴重	中	IV	73.85	中等	低	II	IV
08	47.09	嚴重	中	IV	100.00	良好	低	I	IV
09	38.80	嚴重	高	IV	40.20	嚴重	高	IV	IV
10	90.36	輕微	低	II	100.00	良好	低	I	II

表 4-17 為橋梁代號 01 之 SCI 及 FCI 計算結果，該橋為單跨板橋，無「上部結構」，「下部結構」以橋台為代表，CS 值為 93.75，「橋面板」之 CS 值為 93.75，加權計算後之 SCI 值為 87.89；該橋基礎未裸露，「河道」之 CS 值為 100，「護床工」之 CS 值為 98.438，「基礎及保護設施」不計算，加權計算後之 FCI 值為 98.48。

表 4-17 SCI 及 FCI 計算結果（橋梁 01）

橋梁代號：01										SCI			FCI		
NO	構件名稱	D	E	R	U	劣化類型	ES <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>		
1	引道路堤	2	1	2	2		93.750								
2	引道路堤護欄	2	1	1	1		98.438								
3	引道路堤保護措施	2	1	2	2		93.750								
4	河道	1					100.000				100.000	1.968	51.104		
5	護床工	2	2	1	1	保護設施損壞、移動或遺失	98.438				98.438	1.883	48.132		
6	橋台基礎		0												
7	橋台	2	1	2	2	混凝土結構裂縫	93.750	93.750	3.139	54.862					
8	翼牆/擋土牆	0													
9	橋梁排水設施	0													
10	橋護欄	2	1	1	1		98.438								
11	伸縮縫		0												
12	支承/支承墊/阻尼裝置		0												
13	防落設施	0													
14	橋墩/橋基保護設施	0													
15	橋墩基礎	0													
16	橋墩/帽梁	0													
17	橋墩側向支撐	0													
18	主梁	0													
19	橫隔梁	0													
20	托梁	0													
21	橋面板	2	2	2	2	其他損傷	93.750	93.750	2.225	38.888					
合計										5.364	93.750	3.851	99.236		
										SCI	87.89	FCI	98.48		

表 4-18 為橋梁代號 02 之 SCI 及 FCI 計算結果，該橋為板橋，無「上部結構」，「下部結構」以橋墩為代表，CS 值為 93.75，「橋面板」之 CS 值為 93.75，加權計算後之 SCI 值為 87.89；該橋基礎未裸露且無「護床工」，「河道」之 CS 值為 100，「基礎及保護設施」不計算，FCI 值為 100。

表 4-18 SCI 及 FCI 計算結果 (橋梁 02)

橋梁代號：02																
NO	構件名稱	D	E	R	U	劣化類型	ES <sub>i</sub>	SCI			FCI					
								CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>			
1	引道路堤	0														
2	引道路堤護欄	0														
3	引道路堤保護措施	0														
4	河道	1					100.000				100.000				100.000	
5	護床工	0														
6	橋台基礎	0														
7	橋台	2	1	2	2	混凝土結構裂縫 混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	93.750									
8	翼牆/擋土牆	1					100.000									
9	橋梁排水設施	2	3	1	1		98.438									
10	橋護欄	2	1	1	1		98.438									
11	伸縮縫				0											
12	支承/支承墊/阻尼裝置				0											
13	防落設施	0														
14	橋墩/橋基保護設施	0														
15	橋墩基礎				0											
16	橋墩/帽梁	2	1	2	2	混凝土結構裂縫	93.750	93.750	3.234	55.539						
17	橋墩側向支撐	0														
18	主梁	0														
19	橫隔梁	0														
20	托梁	0														
21	橋面板	2	1	2	2	混凝土剝落、破碎、鋼筋、鋼腱或錨碇	93.750	93.750	2.225	38.211						
合計																
								5.459	SCI	87.89						
								1.968	FCI	100.00						

表 4-19 為橋梁代號 03 之 SCI 及 FCI 計算結果，該橋為單跨板橋，無「上部結構」，「下部結構」以橋台為代表，CS 值為 85.938，「橋面板」之 CS 值為 68.359，加權計算後之 SCI 值為 61.85；該橋基礎未裸露，「河道」之 CS 值為 100，「護床工」之 CS 值為 100，「基礎及保護設施」不計算，FCI 值為 100。

表 4-19 SCI 及 FCI 計算結果 (橋梁 03)

橋梁代號：03										SCI			FCI		
NO	構件名稱	D	E	R	U	劣化類型	ES <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>		
1	引道路堤	0													
2	引道路堤護欄	0													
3	引道路堤保護措施	0													
4	河道	1					100.000				100.000	1.968	51.104		
5	護床工	1					100.000				100.000	1.883	48.896		
6	橋台基礎	0													
7	橋台	3	1	2	2	混凝土結構裂縫	85.938	85.938	3.139	50.290					
8	翼牆/擋土牆	0													
9	橋梁排水設施	0													
10	橋護欄	2	3	1	1		98.438								
11	伸縮縫	0													
12	支承/支承墊/阻尼裝置	0													
13	防落設施	0													
14	橋墩/橋基保護設施	0													
15	橋墩基礎	0													
16	橋墩/帽梁	0													
17	橋墩側向支撐	0													
18	主梁	0													
19	橫隔梁	0													
20	托梁	0													
21	橋面板	3	2	3	3	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	68.359	68.359	2.225	28.356					
合計										5.364	78.646	3.851	100.000		
										SCI	61.85	FCI	100.00		

表 4-20 為橋梁代號 04 之 SCI 及 FCI 計算結果，「下部結構」以橋墩為代表，CS 值為 98.438，「上部結構」以主梁為代表，CS 值為 93.75，「橋面板」之 CS 值為 98.438，加權計算後之 SCI 值為 94；「河道」之 CS 值為 100，「護床工」之 CS 值為 100，「基礎及保護設施」以橋基保護設施為代表，CS 值為 100，FCI 值為 100。

表 4-20 SCI 及 FCI 計算結果 (橋梁 04)

橋梁代號：04										SCI			FCI		
NO	構件名稱	D	E	R	U	劣化類型	ES <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>		
1	引道路堤	2	1	1	1		98.438								
2	引道路堤護欄	2	1	1	1		98.438								
3	引道路堤保護措施	0													
4	河道	1					100.000				100.000	1.968	32.669		
5	護床工	1					100.000				100.000	1.883	31.258		
6	橋台基礎	0					100.000								
7	橋台	2	1	1	1	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	98.438								
8	翼牆/擋土牆	2	1	1	1		98.438								
9	橋梁排水設施	2	2	1	1		98.438								
10	橋護欄	2	1	1	1		98.438								
11	伸縮縫	2	4	1	1		98.438								
12	支承/支承墊/阻尼裝置	1					100.000								
13	防落設施	1					100.000								
14	橋墩/橋基保護設施	1					100.000				100.000	2.173	36.072		
15	橋墩基礎	0													
16	橋墩/帽梁	2	1	1	1	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	98.438	98.438	3.234	39.868					
17	橋墩側向支撐	0													
18	主梁	2	1	2	2	混凝土結構裂縫 混凝土剝落、鋼筋外露、銹蝕	93.750	93.750	2.526	29.657					
19	橫隔梁	2	1	2	2		93.750								
20	托梁	0													
21	橋面板	2	1	1	1	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	98.438	98.438	2.225	27.429					
合計										7.985	SCI	94.00	6.024	FCI	100.000
										94.00	SCI	94.00	100.000	FCI	100.00

表 4-21 為橋梁代號 05 之 SCI 及 FCI 計算結果，「下部結構」以橋墩為代表，CS 值為 68.359，「上部結構」以主梁為代表，CS 值為 68.359，「橋面板」之 CS 值為 68.359，加權計算後之 SCI 值為 46.73；該橋無「護床工」，「河道」之 CS 值為 100，「基礎及保護設施」以橋墩基礎為代表，CS 值為 93.75，加權計算後之 FCI 值為 92.03。

表 4-21 SCI 及 FCI 計算結果 (橋梁 05)

橋梁代號：05										SCI			FCI		
NO	構件名稱	D	E	R	U	劣化類型	ES <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>		
1	引道路堤	0													
2	引道路堤護欄	0													
3	引道路堤保護措施	0													
4	河道	1					100.000			100.000		1.968	34.937		
5	護床工	0													
6	橋台基礎	0													
7	橋台	3	2	3	3	混凝土結構裂縫 混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	68.359								
8	翼牆/擋土牆	0													
9	橋梁排水設施	2	1	1	1		98.438								
10	橋護欄	2	2	2	2		93.750								
11	伸縮縫	2	2	2	2		93.750								
12	支承/支承墊/阻尼裝置	1					100.000								
13	防落設施	2	1	2	2		93.750								
14	橋墩/橋基保護設施	0													
15	橋墩基礎	2	1	2	1	基礎沖刷、裸露、掏空	93.750								
16	橋墩/帽梁	3	2	3	3	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	68.359	68.359	3.234	27.686	93.750	3.665	60.997		
17	橋墩側向支撐	0													
18	主梁	3	1	3	3	混凝土剝落、破碎、鋼筋、鋼腱或錨碇	68.359	68.359	2.526	21.625					
19	橫隔梁	3	1	3	3		68.359								
20	托梁	0													
21	橋面板	3	1	3	3	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	68.359	68.359	2.225	19.048					
合計										7.985	SCI	46.73	5.633	FCI	95.934
										92.03	FCI	92.03			

表 4-22 為橋梁代號 06 之 SCI 及 FCI 計算結果，「下部結構」以橋墩為代表，CS 值為 93.75，「上部結構」以主梁為代表，CS 值為 93.75，「橋面板」之 CS 值為 93.75，加權計算後之 SCI 值為 87.89；該橋基礎未裸露，「河道」之 CS 值為 100，「護床工」之 CS 值為 100，「基礎及保護設施」不計算，FCI 值為 100。

表 4-22 SCI 及 FCI 計算結果 (橋梁 06)

橋梁代號：06		劣化類型						SCI				FCI			
NO	構件名稱	D	E	R	U	ES <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>			
1	引道路堤	1				100.000									
2	引道路堤護欄	1				100.000									
3	引道路堤保護措施	2	1	2	2	93.750									
4	河道	1				100.000				100.000	1.968	51.104			
5	護床工	1				100.000				100.000	1.883	48.896			
6	橋台基礎	0													
7	橋台	2	1	1	1	98.438									
8	翼牆/擋土牆	0													
9	橋梁排水設施	0													
10	橋護欄	2	3	1	1	98.438									
11	伸縮縫	2	4	1	1	98.438									
12	支承/支承墊/阻尼裝置	2	1	2	2	93.750									
13	防落設施	2	1	1	1	98.438									
14	橋墩/橋基保護設施	0													
15	橋墩基礎	0													
16	橋墩/帽梁	2	1	2	2	93.750	93.750	3.234	37.970						
17	橋墩側向支撐	0													
18	主梁	2	1	2	2	93.750	93.750	2.526	29.657						
19	橫隔梁	2	1	1	1	98.438									
20	托梁	0													
21	橋面板	2	3	2	2	93.750	93.750	2.225	26.123						
合計												7.985	93.750	3.851	100.000
合計												SCI	87.89	FCI	100.00

表 4-23 為橋梁代號 07 之 SCI 及 FCI 計算結果，「下部結構」以橋台為代表，CS 值為 93.75，「上部結構」以主梁為代表，CS 值為 43.75，「橋面板」之 CS 值為 68.359，加權計算後之 SCI 值為 49.82；該橋基礎未裸露且無「護床工」，「河道」之 CS 值為 85.938，「基礎及保護設施」不計算，加權計算後之 FCI 值為 73.85。

表 4-23 SCI 及 FCI 計算結果 (橋梁 07)

橋梁代號：07										SCI			FCI		
NO	構件名稱	D	E	R	U	劣化類型	ES <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>		
1	引道路堤	0													
2	引道路堤護欄	0													
3	引道路堤保護措施	0													
4	河道	3	4	2	2	河道沖淤或變遷	85.938				85.938	1.968	85.938		
5	護床工	0													
6	橋台基礎	0													
7	橋台	2	1	2	2	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	93.750	93.750	3.139	37.298					
8	翼牆/擋土牆	0													
9	橋梁排水設施	2	3	1	1		98.438								
10	橋護欄	3	1	2	2		85.938								
11	伸縮縫	2	4	1	1		98.438								
12	支承/支承墊/阻尼裝置	1					100.000								
13	防落設施	1					100.000								
14	橋墩/橋基保護設施	0													
15	橋墩基礎	0													
16	橋墩/帽梁	1					100.000								
17	橋墩側向支撐	0													
18	主梁	4	2	3	3	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	43.750	43.750	2.526	14.007					
19	橫隔梁	3	1	2	2		85.938								
20	托梁	0													
21	橋面板	3	1	3	3	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	68.359	68.359	2.225	19.278					
合計										7.890	70.582	1.968	85.938		
合計										SCI	49.82	FCI	73.85		

表 4-24 為橋梁代號 08 之 SCI 及 FCI 計算結果，「下部結構」以橋墩為代表，CS 值為 85.938，「上部結構」以主梁為代表，CS 值為 68.359，「橋面板」之 CS 值為 43.75，加權計算後之 SCI 值為 47.09；「河道」之 CS 值為 100，「護床工」之 CS 值為 100，「基礎及保護設施」以橋基保護設施為代表，CS 值為 100，FCI 值為 100。

表 4-24 SCI 及 FCI 計算結果 (橋梁 08)

橋梁代號：08										SCI			FCI		
NO	構件名稱	D	E	R	U	劣化類型	ES <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>		
1	引道路堤	0													
2	引道路堤護欄	0													
3	引道路堤保護措施	0													
4	河道	1					100.000				100.000	1.968	32.669		
5	護床工	1					100.000				100.000	1.883	31.258		
6	橋台基礎	0													
7	橋台	2	1	1	1	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	98.438								
8	翼牆/擋土牆	2	4	1	1		98.438								
9	橋梁排水設施	2	3	1	1		98.438								
10	橋護欄	3	1	2	2		85.938								
11	伸縮縫	2	4	1	1		98.438								
12	支承/支承墊/阻尼裝置	1					100.000								
13	防落設施	0													
14	橋墩/橋基保護設施	1					100.000				100.000	2.173	36.072		
15	橋墩基礎	0													
16	橋墩/帽梁	3	1	2	3	混凝土結構裂縫	85.938	85.938	3.234	34.805					
17	橋墩側向支撐	0													
18	主梁	3	1	3	3	混凝土剝落、破碎、鋼筋、鋼腱或錨碇	68.359	68.359	2.526	21.625					
19	橫隔梁	4	1	3	3		43.750								
20	托梁	0													
21	橋面板	4	2	3	3	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	43.750	43.750	2.225	12.191					
合計										7.985	68.621	6.024	100.000		
										SCI	47.09	FCI	100.00		

表 4-25 為橋梁代號 09 之 SCI 及 FCI 計算結果，「下部結構」以橋墩基礎為代表，CS 值為 43.75，「上部結構」以主梁為代表，CS 值為 68.359，「橋面板」之 CS 值為 85.938，加權計算後之 SCI 值為 38.8；該橋無「護床工」，「河道」之 CS 值為 100，「基礎及保護設施」以橋墩基礎為代表，CS 值為 43.75，加權計算後之 FCI 值為 40.20。

表 4-25 SCI 及 FCI 計算結果 (橋梁 09)

橋梁代號：09										SCI			FCI		
NO	構件名稱	D	E	R	U	劣化類型	ES <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>		
1	引道路堤	0													
2	引道路堤護欄	0													
3	引道路堤保護措施	0													
4	河道	1					100.000			100.000	100.000	1.968	34.937		
5	護床工	0													
6	橋台基礎	0													
7	橋台	2	1	2	2	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	93.750								
8	翼牆/擋土牆	3	2	2	2		85.938								
9	橋梁排水設施	0													
10	橋護欄	1					100.000								
11	伸縮縫	0													
12	支承/支承墊/阻尼裝置	1					100.000								
13	防落設施	0													
14	橋墩/橋基保護設施	0													
15	橋墩基礎	4	4	3	3	基礎沖刷、裸露、掏空	43.750	43.750	3.665	19.052	43.750	3.665	28.465		
16	橋墩/帽梁	2	2	1	1	植物生長	98.438								
17	橋墩側向支撐	0													
18	主梁	3	1	3	3	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	68.359	68.359	2.526	20.518					
19	橫隔梁	0													
20	托梁	0													
21	橋面板	3	2	2	2	滲水白華	85.938	85.938	2.225	22.720					
合計									8.416	62.290		5.633	63.402		
									<b>SCI</b>	<b>38.80</b>		<b>FCI</b>	<b>40.20</b>		

表 4-26 為橋梁代號 10 之 SCI 及 FCI 計算結果，「下部結構」以橋墩為代表，CS 值為 93.75，「上部結構」以主梁為代表，CS 值為 93.75，「橋面板」之 CS 值為 98.438，加權計算後之 SCI 值為 90.36；該橋基礎未裸露且無「護床工」，「河道」之 CS 值為 100，「基礎及保護設施」不計算，FCI 值為 100。

表 4-26 SCI 及 FCI 計算結果 (橋梁 10)

橋梁代號：10										SCI			FCI		
NO	構件名稱	D	E	R	U	劣化類型	ES <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>		
1	引道路堤	2	1	1	1		98.438								
2	引道路堤護欄	0													
3	引道路堤保護措施	2	1	2	2		93.750								
4	河道	1					100.000				100.000	1.968	100.000		
5	護床工	0													
6	橋台基礎	0													
7	橋台	2	2	1	1	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	98.438								
8	翼牆/擋土牆	0													
9	橋梁排水設施	2	2	1	1		98.438								
10	橋護欄	2	1	1	1		98.438								
11	伸縮縫	2	1	2	2		93.750								
12	支承/支承墊/阻尼裝置	2	2	2	2		93.750								
13	防落設施	0													
14	橋墩/橋基保護設施	0													
15	橋墩基礎	0													
16	橋墩/帽梁	2	1	2	2	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	93.750	93.750	3.234	37.970					
17	橋墩側向支撐	0													
18	主梁	2	1	2	2	混凝土結構裂縫 混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	93.750	93.750	2.526	29.657					
19	橫隔梁	2	1	2	2		93.750								
20	托梁	0													
21	橋面板	2	1	1	1	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	98.438	98.438	2.225	27.429					
合計										7.985	90.36	90.36	1.968	100.000	
										<b>SCI</b>		<b>FCI</b>	<b>FCI</b>	<b>100.00</b>	

表 4-27 為橋梁代號 01 之  $RI_S$  及  $RI_F$  評估結果，該橋滿足 A1-2 啟動條件，A2-3 至 A2-7 僅滿足 1 項， $RI_S$  為低；該橋未滿足 B1-1 啟動條件，不須判斷評估項目， $RI_F$  為低。

表 4-27  $RI_S$  及  $RI_F$  評估結果（橋梁 01）

RI <sub>S</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A1-1	橋台或橋墩基礎裸露	無	
A1-2	主要構件結構裂縫或鋼筋外露	有	V
RI <sub>S</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A2-1	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	(未達 A1-1, 不須判斷)	
A2-2	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	(未達 A1-1, 不須判斷)	
A2-3	墩柱與基礎嚴重劣化	否	
A2-4	第一類活動斷層近域	否	
A2-5	地盤類別為臺北盆地、第三類地盤或不詳	臺北盆地	V
A2-6	土壤液化潛勢為高	中	
A2-7	碳鋼金屬腐蝕速率為 C5 或 CX	C2	
	離海岸 300 公尺以內	14009 公尺	
RI <sub>S</sub> 評等			低
RI <sub>F</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B1-1	橋台或橋墩基礎裸露	無	
RI <sub>F</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B2-1	基礎嚴重裸露	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-2	河道變遷	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-3	鄰近有採砂	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-4	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	(未達 B1-1, 不須判斷)	
	基礎型式為直接基礎	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-5	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	(未達 B1-1, 不須判斷)	
	基礎深度未達 10 公尺	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-6	梁底高程不足	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-7	上下游 500 公尺內是否有攔河堰	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-8	上下游 500 公尺內是否有橋梁	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-9	具側向侵蝕或水躍(或跌水)冲刷的潛在因素	(未達 B1-1, 不須判斷)	
RI <sub>F</sub> 評等			低

表 4-28 為橋梁代號 02 之 RI<sub>S</sub> 及 RI<sub>F</sub> 評估結果，該橋滿足 A1-2 啟動條件，A2-3 至 A2-7 僅滿足 1 項，RI<sub>S</sub> 為低；該橋未滿足 B1-1 啟動條件，不須判斷評估項目，RI<sub>F</sub> 為低。

表 4-28 RI<sub>S</sub> 及 RI<sub>F</sub> 評估結果（橋梁 02）

RI <sub>S</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A1-1	橋台或橋墩基礎裸露	無	
A1-2	主要構件結構裂縫或鋼筋外露	有	V
RI <sub>S</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A2-1	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	(未達 A1-1, 不須判斷)	
A2-2	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	(未達 A1-1, 不須判斷)	
A2-3	墩柱與基礎嚴重劣化	否	
A2-4	第一類活動斷層近域	否	
A2-5	地盤類別為臺北盆地、第三類地盤或不詳	第一類地盤	
A2-6	土壤液化潛勢為高	中	
A2-7	碳鋼金屬腐蝕速率為 C5 或 CX	C5	V
	離海岸 300 公尺以內	9154 公尺	
RI <sub>S</sub> 評等			低
RI <sub>F</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B1-1	橋台或橋墩基礎裸露	無	
RI <sub>F</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B2-1	基礎嚴重裸露	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-2	河道變遷	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-3	鄰近有採砂	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-4	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	(未達 B1-1, 不須判斷)	
	基礎型式為直接基礎	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-5	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	(未達 B1-1, 不須判斷)	
	基礎深度未達 10 公尺	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-6	梁底高程不足	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-7	上下游 500 公尺內是否有攔河堰	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-8	上下游 500 公尺內是否有橋梁	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-9	具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在因素	(未達 B1-1, 不須判斷)	
RI <sub>F</sub> 評等			低

表 4-29 為橋梁代號 03 之 RI<sub>S</sub> 及 RI<sub>F</sub> 評估結果，該橋滿足 A1-2 啟動條件，A2-3 至 A2-7 滿足 2 項，RI<sub>S</sub> 為中；該橋未滿足 B1-1 啟動條件，不須判斷評估項目，RI<sub>F</sub> 為低。

表 4-29 RI<sub>S</sub> 及 RI<sub>F</sub> 評估結果 (橋梁 03)

RI <sub>S</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A1-1	橋台或橋墩基礎裸露	無	
A1-2	主要構件結構裂縫或鋼筋外露	有	V
RI <sub>S</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A2-1	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	(未達 A1-1, 不須判斷)	
A2-2	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	(未達 A1-1, 不須判斷)	
A2-3	墩柱與基礎嚴重劣化	否	
A2-4	第一類活動斷層近域	否	
A2-5	地盤類別為臺北盆地、第三類地盤或不詳	臺北盆地	V
A2-6	土壤液化潛勢為高	無	
A2-7	碳鋼金屬腐蝕速率為 C5 或 CX	C5	V
	離海岸 300 公尺以內	25066 公尺	
RI <sub>S</sub> 評等			中
RI <sub>F</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B1-1	橋台或橋墩基礎裸露	無	
RI <sub>F</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B2-1	基礎嚴重裸露	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-2	河道變遷	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-3	鄰近有採砂	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-4	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	(未達 B1-1, 不須判斷)	
	基礎型式為直接基礎	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-5	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	(未達 B1-1, 不須判斷)	
	基礎深度未達 10 公尺	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-6	梁底高程不足	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-7	上下游 500 公尺內是否有攔河堰	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-8	上下游 500 公尺內是否有橋梁	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-9	具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在因素	(未達 B1-1, 不須判斷)	
RI <sub>F</sub> 評等			低

表 4-30 為橋梁代號 04 之  $RI_S$  及  $RI_F$  評估結果，該橋滿足 A1-2 啟動條件，A2-3 至 A2-7 均未滿足， $RI_S$  為低；該橋未滿足 B1-1 啟動條件，不須判斷評估項目， $RI_F$  為低。

表 4-30  $RI_S$  及  $RI_F$  評估結果（橋梁 04）

RI <sub>S</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A1-1	橋台或橋墩基礎裸露	無	
A1-2	主要構件結構裂縫或鋼筋外露	有	V
RI <sub>S</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A2-1	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	(未達 A1-1, 不須判斷)	
A2-2	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	(未達 A1-1, 不須判斷)	
A2-3	墩柱與基礎嚴重劣化	否	
A2-4	第一類活動斷層近域	否	
A2-5	地盤類別為臺北盆地、第三類地盤或不詳	第一類地盤	
A2-6	土壤液化潛勢為高	低	
A2-7	碳鋼金屬腐蝕速率為 C5 或 CX	C4	
	離海岸 300 公尺以內	19354 公尺	
RI <sub>S</sub> 評等			低
RI <sub>F</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B1-1	橋台或橋墩基礎裸露	無	
RI <sub>F</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B2-1	基礎嚴重裸露	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-2	河道變遷	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-3	鄰近有採砂	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-4	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	(未達 B1-1, 不須判斷)	
	基礎型式為直接基礎	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-5	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	(未達 B1-1, 不須判斷)	
	基礎深度未達 10 公尺	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-6	梁底高程不足	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-7	上下游 500 公尺內是否有攔河堰	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-8	上下游 500 公尺內是否有橋梁	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-9	具側向侵蝕或水躍(或跌水)冲刷的潛在因素	(未達 B1-1, 不須判斷)	
RI <sub>F</sub> 評等			低

表 4-31 為橋梁代號 05 之 RI<sub>S</sub> 及 RI<sub>F</sub> 評估結果，該橋滿足 A1-1 及 A1-2 啟動條件，A2-1 至 A2-7 滿足 5 項，RI<sub>S</sub> 為高；該橋滿足 B1-1 啟動條件，B2-1 至 B2-9 滿足 3 項，RI<sub>F</sub> 為中。

表 4-31 RI<sub>S</sub> 及 RI<sub>F</sub> 評估結果 (橋梁 05)

RI <sub>S</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A1-1	橋台或橋墩基礎裸露	有	V
A1-2	主要構件結構裂縫或鋼筋外露	有	V
RI <sub>S</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A2-1	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	不詳	V
A2-2	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	不詳	V
A2-3	墩柱與基礎嚴重劣化	橋墩/帽梁 D=3	V
A2-4	第一類活動斷層近域	否	
A2-5	地盤類別為臺北盆地、第三類地盤或不詳	臺北盆地	V
A2-6	土壤液化潛勢為高	中	
A2-7	碳鋼金屬腐蝕速率為 C5 或 CX	C5	V
	離海岸 300 公尺以內	11325 公尺	
RI <sub>S</sub> 評等			高
RI <sub>F</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B1-1	橋台或橋墩基礎裸露	有	V
RI <sub>F</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B2-1	基礎嚴重裸露	無	
B2-2	河道變遷	無	
B2-3	鄰近有採砂	無	
B2-4	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	不詳	V
	基礎型式為直接基礎		
B2-5	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	不詳	V
	基礎深度未達 10 公尺		
B2-6	梁底高程不足	最低支承高程：3.4 計畫洪水位：不詳 計畫堤頂高程：不詳	
B2-7	上下游 500 公尺內是否有攔河堰	無	
B2-8	上下游 500 公尺內是否有橋梁	有	V
B2-9	具側向侵蝕或水躍(或跌水)冲刷的潛在因素	無	
RI <sub>F</sub> 評等			中

表 4-32 為橋梁代號 06 之  $RI_S$  及  $RI_F$  評估結果，該橋滿足 A1-2 啟動條件，A2-3 至 A2-7 滿足 1 項， $RI_S$  為低；該橋未滿足 B1-1 啟動條件，不須判斷評估項目， $RI_F$  為低。

表 4-32  $RI_S$  及  $RI_F$  評估結果（橋梁 06）

RI <sub>S</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A1-1	橋台或橋墩基礎裸露	無	
A1-2	主要構件結構裂縫或鋼筋外露	有	V
RI <sub>S</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A2-1	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	(未達 A1-1, 不須判斷)	
A2-2	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	(未達 A1-1, 不須判斷)	
A2-3	墩柱與基礎嚴重劣化	否	
A2-4	第一類活動斷層近域	否	
A2-5	地盤類別為臺北盆地、第三類地盤或不詳	第一類地盤	
A2-6	土壤液化潛勢為高	低	
A2-7	碳鋼金屬腐蝕速率為 C5 或 CX	C5	V
	離海岸 300 公尺以內	5 公尺	V
RI <sub>S</sub> 評等			低
RI <sub>F</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B1-1	橋台或橋墩基礎裸露	無	
RI <sub>F</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B2-1	基礎嚴重裸露	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-2	河道變遷	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-3	鄰近有採砂	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-4	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	(未達 B1-1, 不須判斷)	
	基礎型式為直接基礎	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-5	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	(未達 B1-1, 不須判斷)	
	基礎深度未達 10 公尺	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-6	梁底高程不足	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-7	上下游 500 公尺內是否有攔河堰	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-8	上下游 500 公尺內是否有橋梁	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-9	具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在因素	(未達 B1-1, 不須判斷)	
RI <sub>F</sub> 評等			低

表 4-33 為橋梁代號 07 之 RI<sub>S</sub> 及 RI<sub>F</sub> 評估結果，該橋滿足 A1-2 啟動條件，A2-3 至 A2-7 滿足 2 項，RI<sub>S</sub> 為中；該橋未滿足 B1-1 啟動條件，不須判斷評估項目，RI<sub>F</sub> 為低。

表 4-33 RI<sub>S</sub> 及 RI<sub>F</sub> 評估結果 (橋梁 07)

RI <sub>S</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A1-1	橋台或橋墩基礎裸露	無	
A1-2	主要構件結構裂縫或鋼筋外露	有	V
RI <sub>S</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A2-1	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	(未達 A1-1, 不須判斷)	
A2-2	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	(未達 A1-1, 不須判斷)	
A2-3	墩柱與基礎嚴重劣化	否	
A2-4	第一類活動斷層近域	新城斷層	V
A2-5	地盤類別為臺北盆地、第三類地盤或不詳	第一類地盤	
A2-6	土壤液化潛勢為高	無	
A2-7	碳鋼金屬腐蝕速率為 C5 或 CX	C5	V
	離海岸 300 公尺以內	93 公尺	V
RI <sub>S</sub> 評等			中
RI <sub>F</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B1-1	橋台或橋墩基礎裸露	無	
RI <sub>F</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B2-1	基礎嚴重裸露	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-2	河道變遷	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-3	鄰近有採砂	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-4	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	(未達 B1-1, 不須判斷)	
	基礎型式為直接基礎	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-5	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	(未達 B1-1, 不須判斷)	
	基礎深度未達 10 公尺	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-6	梁底高程不足	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-7	上下游 500 公尺內是否有攔河堰	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-8	上下游 500 公尺內是否有橋梁	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-9	具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在因素	(未達 B1-1, 不須判斷)	
RI <sub>F</sub> 評等			低

表 4-34 為橋梁代號 08 之 RI<sub>S</sub> 及 RI<sub>F</sub> 評估結果，該橋滿足 A1-2 啟動條件，A2-3 至 A2-7 滿足 3 項，RI<sub>S</sub> 為中；該橋未滿足 B1-1 啟動條件，不須判斷評估項目，RI<sub>F</sub> 為低。

表 4-34 RI<sub>S</sub> 及 RI<sub>F</sub> 評估結果 (橋梁 08)

RI <sub>S</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A1-1	橋台或橋墩基礎裸露	無	
A1-2	主要構件結構裂縫或鋼筋外露	有	V
RI <sub>S</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A2-1	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	(未達 A1-1, 不須判斷)	
A2-2	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	(未達 A1-1, 不須判斷)	
A2-3	墩柱與基礎嚴重劣化	橋墩/帽梁 D=3	V
A2-4	第一類活動斷層近域	否	
A2-5	地盤類別為臺北盆地、第三類地盤或不詳	不詳	V
A2-6	土壤液化潛勢為高	無	
A2-7	碳鋼金屬腐蝕速率為 C5 或 CX	CX	V
	離海岸 300 公尺以內	4007 公尺	
RI <sub>S</sub> 評等			中
RI <sub>F</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B1-1	橋台或橋墩基礎裸露	無	
RI <sub>F</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B2-1	基礎嚴重裸露	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-2	河道變遷	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-3	鄰近有採砂	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-4	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	(未達 B1-1, 不須判斷)	
	基礎型式為直接基礎	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-5	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	(未達 B1-1, 不須判斷)	
	基礎深度未達 10 公尺	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-6	梁底高程不足	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-7	上下游 500 公尺內是否有攔河堰	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-8	上下游 500 公尺內是否有橋梁	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-9	具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在因素	(未達 B1-1, 不須判斷)	
RI <sub>F</sub> 評等			低

表 4-35 為橋梁代號 09 之 RI<sub>S</sub> 及 RI<sub>F</sub> 評估結果，該橋滿足 A1-1 及 A1-2 啟動條件，A2-1 至 A2-7 滿足 4 項，RI<sub>S</sub> 為高；該橋滿足 B1-1 啟動條件，B2-1 至 B2-9 滿足 4 項，RI<sub>F</sub> 為高。

表 4-35 RI<sub>S</sub> 及 RI<sub>F</sub> 評估結果 (橋梁 09)

RI <sub>S</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A1-1	橋台或橋墩基礎裸露	有	V
A1-2	主要構件結構裂縫或鋼筋外露	有	V
RI <sub>S</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A2-1	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	直接基礎	
A2-2	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	不詳	V
A2-3	墩柱與基礎嚴重劣化	橋墩基礎 D=3	V
A2-4	第一類活動斷層近域	否	
A2-5	地盤類別為臺北盆地、第三類地盤或不詳	臺北盆地	V
A2-6	土壤液化潛勢為高	無	
A2-7	碳鋼金屬腐蝕速率為 C5 或 CX	CX	V
	離海岸 300 公尺以內	11995 公尺	
RI <sub>S</sub> 評等			高
RI <sub>F</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B1-1	橋台或橋墩基礎裸露	有	V
RI <sub>F</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B2-1	基礎嚴重裸露	橋墩基礎 D=3	V
B2-2	河道變遷	無	
B2-3	鄰近有採砂	無	
B2-4	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)		
	基礎型式為直接基礎	直接基礎	V
B2-5	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	不詳	V
	基礎深度未達 10 公尺		
B2-6	梁底高程不足	最低支承高程：7.7 計畫洪水位：不詳 計畫堤頂高程：不詳	
B2-7	上下游 500 公尺內是否有攔河堰	無	
B2-8	上下游 500 公尺內是否有橋梁	有	V
B2-9	具側向侵蝕或水躍(或跌水)冲刷的潛在因素	無	
RI <sub>F</sub> 評等			高

表 4-36 為橋梁代號 10 之 RI<sub>S</sub> 及 RI<sub>F</sub> 評估結果，該橋滿足 A1-2 啟動條件，A2-3 至 A2-7 滿足 1 項，RI<sub>S</sub> 為低；該橋未滿足 B1-1 啟動條件，不須判斷評估項目，RI<sub>F</sub> 為低。

表 4-36 RI<sub>S</sub> 及 RI<sub>F</sub> 評估結果 (橋梁 10)

RI <sub>S</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A1-1	橋台或橋墩基礎裸露	無	
A1-2	主要構件結構裂縫或鋼筋外露	有	V
RI <sub>S</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A2-1	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	(未達 A1-1, 不須判斷)	
A2-2	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	(未達 A1-1, 不須判斷)	
A2-3	墩柱與基礎嚴重劣化	否	
A2-4	第一類活動斷層近域	否	
A2-5	地盤類別為臺北盆地、第三類地盤或不詳	第一類地盤	
A2-6	土壤液化潛勢為高	無	
A2-7	碳鋼金屬腐蝕速率為 C5 或 CX	C5	V
	離海岸 300 公尺以內	4729 公尺	
RI <sub>S</sub> 評等			低
RI <sub>F</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B1-1	橋台或橋墩基礎裸露	無	
RI <sub>F</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B2-1	基礎嚴重裸露	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-2	河道變遷	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-3	鄰近有採砂	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-4	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	(未達 B1-1, 不須判斷)	
	基礎型式為直接基礎	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-5	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	(未達 B1-1, 不須判斷)	
	基礎深度未達 10 公尺	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-6	梁底高程不足	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-7	上下游 500 公尺內是否有攔河堰	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-8	上下游 500 公尺內是否有橋梁	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-9	具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在因素	(未達 B1-1, 不須判斷)	
RI <sub>F</sub> 評等			低

### 4.3 小結

本研究已挑選 10 座案例評估橋梁進行現地檢測，並完成整橋風險評估，將本研究之檢測人員所評之整橋風險與使用本研究「整橋風險評估模式」公式所評出之結果進行比較（詳表 4-37），僅 1 座代號 03 橋梁有異，本研究之檢測員所評之整橋風險為 II，公式所評之整橋風險為 III，其餘 9 座橋梁，檢測員與公式所評結果均相同。探究代號 03 橋梁的整橋風險評定結果不同，主要原因在於檢測人員認為該橋為單跨板橋，由於其結構型式單純、規模較小，現場環境無明顯風險因子，檢測人員將 RIs 評定為「低」，而公式所評之 RIs 為「中」，是依基本資料中滿足風險因子項目的數量有幾項而判定，該橋橋台有明顯之結構裂縫，橋面板有明顯鋼筋外露且銹蝕，滿足 RIs 啟動條件，所處區域碳鋼金屬腐蝕速率達 C5，同時地盤類別為臺北盆地，具 2 項風險因子項目，故 RIs 為「中」，雖公式計算與檢測人員判定相差一級，但於風險考量上是趨保守且較為安全。

表 4-37 案例評估橋梁整橋風險評等結果比較

橋梁代號	結構安全評等 (團隊檢測員)	結構安全評等 (公式計算)	耐洪安全評等 (團隊檢測員)	耐洪安全評等 (公式計算)	整橋風險評等 (團隊檢測員)	整橋風險評等 (公式計算)
01	II	II	I	I	II	II
02	II	II	I	I	II	II
03	II	III	I	I	II	III
04	II	II	I	I	II	II
05	IV	IV	I	II	IV	IV
06	II	II	II	I	II	II
07	IV	IV	III	II	IV	IV
08	IV	IV	I	I	IV	IV
09	IV	IV	IV	IV	IV	IV
10	II	II	I	I	II	II

本研究另針對 2022 年 9 月 18 日臺東池上規模 6.8 強震造成斷橋之崙天大橋及高寮大橋，利用交通部「車行橋梁管理資訊系統」內兩座橋之橋梁基本資料，以及斷橋前最近一筆定期檢測紀錄（2021 年檢測）進行計算及評估，評估結果如表 4-38 所示，兩橋之結構安全評等均為 IV，其整橋風險評等亦為 IV，兩橋之計算及評估表格詳附錄四。

表 4-38 崙天大橋及高寮大橋整橋風險評估結果

橋梁名稱	SCI 分數	SCI 分類	RI <sub>s</sub> 分類	結構安全評等	FCI 分數	FCI 分類	RI <sub>F</sub> 分類	耐洪安全評等	整橋風險評等
崙天大橋	68.44	中等	高	IV	86.76	輕微	高	III	IV
高寮大橋	57.03	嚴重	中	IV	95.54	良好	低	I	IV

本研究挑選橋梁代號 06、07 及 10，以美國之方式進行檢測與評等，將美國方式評等結果與本研究之整橋風險評等結果比較（詳表 4-39），3 座橋之河道狀況評等與耐洪安全評等之結果趨勢相同，美國之整橋狀況評等與整橋風險評等結果亦屬相同。從本研究檢測人員之評估結果、過去地震斷橋案例之評估結果，以及與美國之整橋狀況評等結果比較，可知本研究提出之「整橋風險評估模式」具有相當之參考價值。

表 4-39 美國方式評等結果與整橋風險評等結果比較

橋梁代號	美國方式評等			整橋風險評等(公式計算)	
	河道狀況評等	沖刷狀況評等	整橋狀況評等	耐洪安全評等	整橋風險評等
06	Good	Good	Fair	I	II
07	Poor	Good	Poor	II	IV
10	Good	Good	Fair	I	II



## 第五章 專家座談會及學術會議

### 5.1 專家座談會

本研究於期中報告後，依審查委員意見調整整橋風險評估模式後，於112/10/26 召開一場專家座談會，進一步討論調整後之整橋風險評估模式，表 5-1 為與會專家名單，圖 5.1 為專家座談會照片。與會專家均肯定本研究之方向及成果，同時也提出寶貴建議，表 5-2 摘錄與整橋風險評估模式本身較為相關之意見，及其對應之處理方式。完整之專家意見詳附錄五。

表 5-1 座談會與會專家名單

NO	服務單位	職稱	姓名
1	中華顧問工程司	主任	王瑞麟
2	黎明工程顧問股份有限公司	協理	李坤哲
3	交通部公路局北區公路新建工程分局	工程司	李家順
4	華光工程顧問股份有限公司	工程師	張凱庭
5	臺灣營建研究院工程技術暨管理研究所	所長	張嘉峰
6	中興工程顧問股份有限公司	主任	葉啟章
7	交通部高速公路局頭城工務段	段長	鄭承鴻

\*按專家學者姓氏筆劃由少至多排序



圖 5.1 專家座談會照片

表 5-2 與會專家對整橋風險評估模式之相關意見

NO	專家意見	團隊處理方式
1	<p>支承為力傳遞途徑，請問 SCI 計算未納入支承的考量為何？若將支承納入計算，E 值也會有效應產出，劣化的影響也會顯現出來，建議將支承納入計算用構件。</p>	<p>SCI 所選用構件，均屬於破壞會導致橋梁結構損毀之構件，支承雖也相當重要，但從過去一些實際案例可知，即使支承 D=4 已完全失去功效，但橋梁並未因此落橋或無法通行，故未納入 SCI 計算。</p>
2	<p>107 年修訂公路橋梁檢測規範時將 CI、PI 移除，原因為 CI、PI 與實際的橋況有出入，此次結構安全評等的 SCI 值，雖然只取 7 個構件去評估，仍建議整橋的評估可以在單一構件壞掉時就顯現出來。過去將 21 個構件都列入評估，則單一構件壞掉對整橋分數的影響就不大。而此次採用最小值的觀念建議可以更廣泛的運用，例如上部結構、下部結構、橋面板等，分部位各自計算所屬構件之 <math>CS_{ij}</math>，再取 <math>\min(CS_{ij})</math> 為代表，在整橋風險上就會更接近實際橋梁的風險。</p>	<p>調整 SCI 及 FCI 計算公式，將 SCI 之 7 項構件分屬「橋面板」、「上部結構」及「下部結構」三大部位，將 FCI 之 5 項構件分屬「河道」、「護床工」及「基礎及保護設施」三大部位，各部位取所屬構件中 <math>ES_i</math> 之最小者為代表。</p>
3	<p>建議可針對過去有發生災害的橋進行整橋風險評等計算，並探討計算結果與實際災害是否相符。</p>	<p>針對 918 池上地震嚴重受損之「崙天大橋」及「高寮大橋」，使用車行橋梁管理資訊系統中 2021 年之定檢紀錄進行計算，兩座橋之整橋風險評等均為 IV。</p>
4	<p>請問公式中指數 a 值如何決定？</p>	<p>測試不同 a 值對應之 SCI 及 FCI 後決定。</p>
5	<p>由橋梁檢測員直接進行 I~IV 級之評等，因檢測員評等較為主觀，所以再透過公式去驗證，公式計算結果若與檢測員的評等相符，亦會增加檢測員評等之可信度。</p>	<p>本研究案例評估橋梁，公式計算及檢測員評等之整橋風險評估結果相當接近，僅 1 座橋差距 1 級。</p>
6	<p>簡報第 12 頁，若未來對象為特殊性橋梁時，公式中的 a、b 指數值要如何選用？</p>	<p>本研究範圍雖未包含特殊橋，但依現在之模式，特殊橋構件同樣會分屬「上部結構」或「下部結構」，因此 a、b 指數值應可沿用。</p>
7	<p>在進行橋梁安全評估時，主要分為承载力、耐震能力及耐洪能力三個面向，想了解本案的結構安全評等除了考量耐震，是否有考量其他面向(例如承载力、耐洪能力)？</p>	<p>結構安全評等主要考量耐震及金屬腐蝕，耐洪能力另屬耐洪安全評等，承载力部分，由於車行橋梁管理資訊系統目前並無交通量（特別是重車部分）相關資料，僅能列為後續建議。</p>
8	<p>RI<sub>F</sub> 評估項目中「梁底高程不足」與沖刷較無關聯性，在填寫梁底高程不足時，除了需要進行梁底高程的量測外，也要取得計畫洪水位及河川治理報告，若跨越的是區域排水，通常也不會有計畫洪水</p>	<p>計畫洪水位及堤頂高程兩欄位在車行橋梁管理資訊系統確實多為「不詳」或「無」，但仍有不少跨中央管河川之橋梁有填寫，加上若梁底高程確實小於計畫洪水位或堤頂高程時，已需規劃進行改</p>

NO	專家意見	團隊處理方式
	位，因此「梁底高程不足」之判定有其困難度。	建，故仍將「梁底高程不足」列為評估項目。
9	在耐震評估上「防落橋長度」很重要，本案並未考量到防落橋長度，且在單跨橋梁是不進行側推分析，主要針對防落橋長度、支承進行耐震評估，建議在 SCI 計算用構件可以加入防落設施。	目前車行橋梁管理資訊系統中，橋台、橋墩均有防落橋長度欄位，但未有「規範防落橋長度」及足可計算防落橋長度之相關資訊，故目前未能納入評估項目。
10	本案使用 a、b 指數值將分數差距顯現出來，相對新 CI、新 PI 值較不會被稀釋，但在橋梁現地檢測案例中，仍有部分數值被稀釋的情況。	調整 SCI 及 FCI 計算公式，將 SCI 之 7 項構件分屬「橋面板」、「上部結構」及「下部結構」三大部位，將 FCI 之 5 項構件分屬「河道」、「護床工」及「基礎及保護設施」三大部位，各部位取所屬構件中 ES <sub>i</sub> 之最小者為代表，可再降低分數被稀釋之情形。
11	請說明 RIs 評等的「A1-2 項、主要構件結構裂縫或鋼筋外露」判斷之方式。	依定期檢測表中所填之「劣化類型」判斷，若 SCI 所選用構件之「劣化類型」出現「結構裂縫」或「鋼筋外露」之關鍵詞，則算為滿足「A1-2」項。
12	RIs 評等的 A1-1 及 RIF 評等的 B1-1 項「橋台或橋墩基礎裸露」在橋梁檢測時，部分橋梁基礎於汛期前、汛期後均被河水覆蓋，目視檢測無法判斷，因此啟動機制會遇到困難，橋梁管理系統上應如何填列？	此應屬檢測執行面之問題，部分橋管機關針對長年水位較高之橋梁，會進行河床斷面測量，若有發現基礎裸露，會反應在定檢紀錄中。
13	實際執行維修的廠商狀況都不同，建議可由橋梁的過往檢測數據，如橋梁出現連續幾年檢測都有劣化情形，有可能是維修廠商沒有確實維修的情況導致，建議橋梁管理系統能夠提醒使用者要特別關注此座橋梁有連續幾年橋梁狀況都屬於差的情況。	未來本研究之成果若應用於車行橋梁管理資訊系統，應可針對各橋歷年風險評等之呈現及提醒等功能進行開發。
14	依據本案整橋風險的算法，目前橋梁管理系統中整橋風險評等屬於較嚴重的橋梁佔比為何？若得出多座橋梁風險都是屬於較高的情況，對橋梁維護管理單位來說將會是一個困擾，因仍需再進行一次維修排序。	本研究案例評估橋梁僅 10 座，無法用來推測車行橋梁管理資訊系統中所有橋梁之評等結果。另，本研究之整橋風險評估分類，並未針對維修時程提出建議，機關仍須依規範，按不同 U 值對應之時程進行維修或處置。

## 5.2 學術會議

依專家座談會與會專家意見調整整橋風險評估模式後，於 112/11/09 舉行對外之學術會議，與會人數共 58 人，包含橋梁管理機關、顧問公司及學術機構，由本研究計畫主持人廖先格博士主講「鋼筋混凝土橋梁整橋風險評估指標之建立」，由協同主持人蔡欣局博士主講「國內外橋梁狀況指標簡介暨美國評等方式現地實作」，另由姚乃嘉教授及王瑞麟主任擔任座談會之與談人，會議議程如表 5-3 所示，圖 5.2 為學術會議照片。

表 5-3 學術會議議程

時間	議程	主講人/與談人/備註
13:30-14:00	報到	
14:00-14:10	開場致詞	姚乃嘉 教授
14:10-15:00	國內外橋梁狀況指標簡介暨美國評等方式現地實作	財團法人中華顧問工程司 蔡欣局主任
15:00-15:10	茶敘休息	
15:10-16:00	鋼筋混凝土橋梁整橋風險評估指標之建立	中華民國營建管理協會 廖先格技術經理
16:00-16:50	綜合座談	中央大學 姚乃嘉教授 財團法人中華顧問工程司 王瑞麟主任
16:50	散會	



圖 5.2 學術會議照片

## 第六章 結論與建議

橋梁實際定期檢測作業是逐跨逐構件進行，並依據劣化類型及劣化狀況評估 D.R.U 值，再依劣化範圍評定 E 值。D.E.R.U 檢測方式強調的是大規模、快速地進行龐大數量橋梁的初步普檢與篩選評估，故檢測記錄方式甚為精簡、快速。此種評等法所評定的結果僅能針對構件進行維修處置之建議，並無橋梁整體狀況之評估。為評估橋梁整體狀況，本研究利用目視檢測結果 D.E.R.U 值，配合構件對橋梁重要性之權重，建立理論模式計算橋梁之狀況，以利橋梁維護管理作業及資源分配。

### 6.1 結論

本研究已蒐集並回顧美國、日本、南非、中國大陸、芬蘭及德國之檢測法及橋梁狀況評估方式，亦針對國內橋梁管理及檢測單位之 10 位專家進行訪談，汲取各國及專家之寶貴經驗，提出「整橋風險評估模式」。本研究僅針對車行橋梁進行研究，鐵道橋梁及人行天橋未列入，研究範圍為混凝土一般性橋梁（梁式橋及板橋），不含鋼結構橋梁及特殊性橋梁。本研究提出之「整橋風險評估模式」，係使用定期檢測紀錄（DER&U 值）及橋梁管理系統中之基本資料進行初步評估。

「整橋風險評估」結果分為 I~IV 共四個等級，I 為良好、II 為尚可、III 屬較差、IV 則為嚴重。「整橋風險評估模式」之評估結果，在符合「公路橋梁檢測及補強規範」下，針對等級 I 之橋梁，在無明顯會造成橋況劣化之因素時，建議可放寬檢測頻率，但最長不得超過四年；對等級 II 之橋梁可考慮進行預防性維修；等級 III 之橋梁需要採取適當之維修，若未能於近期完成維修，應增加其檢測頻率，觀察劣化有無急速加劇；等級 IV 之橋梁已經屬不安全狀態，建議依橋況進行緊急處置或結構安全評估，經評估後採取適當之維修或補強，若難以有效維修或補強，或效益不高時，可考慮改建。四個等級均未對維修或補強時程提出建議，機關仍依檢測規範中

U 值之規定進行維修或處置。

本研究考量臺灣橋梁受地震及基礎沖刷而毀損者為數不少，因此「整橋風險評估」結果是由「結構安全評等」及「耐洪安全評等」中取較差者為代表。「結構安全評等」結果分為 I~IV 共四個等級，透過 SCI（結構性指標）與 RI<sub>S</sub>（結構安全風險指標）組合而成之結構安全與風險矩陣決定。其中，SCI 係由橋梁「橋面板」、「上部結構」及「下部結構」三大部位之 CS<sub>i</sub>（部位狀態指標）加權計算而得。RI<sub>S</sub> 之評估，首先視橋梁是否達到啟動條件：(1) 橋台或橋墩基礎裸露，及 (2) 主要構件結構裂縫或鋼筋外露。達到啟動條件後再視符合幾項評估條件，符合之評估項目越多，RI<sub>S</sub> 風險評等越高。「耐洪安全評等」僅對跨水橋進行評估，結果分亦為 I~IV 共四個等級，透過 FCI（耐洪性指標）與 RI<sub>F</sub>（耐洪安全風險指標）組合而成之耐洪安全與風險矩陣決定。其中，FCI 係由橋梁「河道」、「護床工」及「基礎及保護設施」三大部位之 CS<sub>i</sub>（部位狀態指標）加權計算而得。RI<sub>F</sub> 之評估，首先視橋梁是否達到啟動條件：橋台或橋墩基礎裸露。達到啟動條件後再視符合幾項評估條件，符合之評估項目越多，RI<sub>F</sub> 風險評等越高。

本研究篩選混凝土一般性橋梁共 10 座（7 座梁式橋及 3 座板橋），做為案例評估橋梁，本研究派檢測人員對案例評估橋梁進行現地檢測，使用現地檢測結果及交通部「車行橋梁管理資訊系統」內之橋梁基本資料進行計算及評估，再將檢測人員所評之整橋風險與使用本研究「整橋風險評估模式」所評出之結果進行比較，10 座橋梁中有 9 座結果相同，僅 1 座代號 03 橋梁有異，檢測人員所評之整橋風險為 II，公式所評之整橋風險為 III。亦針對 2022 年 9 月 18 日臺東強震造成斷橋之崙天大橋及高寮大橋，利用交通部「車行橋梁管理資訊系統」內兩座橋之橋梁基本資料，以及斷橋前最近一筆定期檢測紀錄進行計算及評估，評估結果兩橋之整橋風險評等均為 IV。另外，從案例評估橋梁中挑選 3 座橋以美國之方式進行檢測與評等，其結果亦與本研究「整橋風險評估模式」所評出之結果相符。

綜上，除特殊狀況外（例如偏心橋、重車超載等），在一般狀態下，本

研究之「整橋風險評估模式」具相當之參考價值，能確實呈現出橋梁之狀況，供橋梁管理機關後續處置及管理決策參考。

## 6.2 建議

- (一) 建議後續邀請部分橋梁管理機關進行試辦，使用本「整橋風險評估模式」針對機關轄下橋梁進行評估，將評估結果與機關負責橋管人員進行討論，獲取意見回饋，作為模式調整之參考。
- (二) 建議日後各機關實際使用本「整橋風險評估模式」時，可視其管理作為強度自行調整 a 及 b 指數，同時 SCI 及 FCI 之分數區間亦須隨之調整。
- (三) 建議將鋼結構橋梁及特殊性橋梁納入研究範圍，另行調查特殊橋梁構件重要指數，並適度調整計算用之部位、構件、公式及相關參數。
- (四) 建議於車行橋梁管理資訊系統中建立「整橋風險評估」計算功能，可顯示各橋之整橋風險評估分級、結構安全評估分級、耐洪安全評估分級、SCI、FCI、RI<sub>S</sub>、RI<sub>F</sub> 等數值，所得出之結果暫供內參，待充分驗證後再開放。
- (五) 建議日後各機關之橋梁管理系統可考慮增加「交通量」相關欄位，依現行「公路橋梁檢測及補強規範」，表 C6.2.1 中活載重因數變動之參數為「平均每日貨車流量」大於 1000，若未來橋梁管理系統可增加該欄位，可將「平均每日貨車流量」是否大於 1000 列入 RI<sub>S</sub> 評估項。
- (六) 建議日後各機關之橋梁管理系統可考慮增加「規範防落橋長度」或足以計算之相關欄位，便可將「防落橋長度」是否符合「規範防落橋長度」列入 RI<sub>S</sub> 評估項。
- (七) 由於「整橋風險評估」係使用橋梁管理系統中之橋梁基本資料及定期檢測紀錄，對於特殊狀況之橋梁不一定能準確評估，建議後續各機關執行定期檢測時可考慮增加「檢測人員風險評等」供參。
- (八) 日後橋梁檢測規範修訂時，針對定期檢測可增加對上部結構、下部結構、橋梁整體等部位之評等。



## 參考文獻

1. The Silver Bridge Event at the West Virginia Department of Transportation website: [https://transportation.wv.gov/highways/bridge\\_facts/Modern-Bridges/Pages/Silver.aspx](https://transportation.wv.gov/highways/bridge_facts/Modern-Bridges/Pages/Silver.aspx).
2. Ryan, T.W., Lloyd, C.E., Pichura, M.S., Tarasovich, D.M., and Fitzgerald, S. (2022), *Bridge Inspector's Reference Manual (BIRM)*, FHWA Report No. FHWA-NHI-21-002, National Highway Institute (NHI), FHWA, Vienna, Virginia, U.S.A.
3. Kanawha & Michigan Railroad and The Silver Bridge at MyWVHome official website: <https://www.mywvhome.com/twenties/depot.htm>.
4. Puris, R.L., Graber, D.R., Albrecht, P., and Flournoy, T.S. (1986), *Inspection of Fracture Critical Bridge Members*, FHWA Report No. FHWA-IP-86-26, Office of Implementation Engineering Highway Operation, FHWA, McLean, Virginia, U.S.A.
5. Arnoult, J.D. (1986), *Culvert Inspection Manual*, FHWA Report No. FHWA-IP-86-2, Office of Implementation Engineering Highway Operation, FHWA, McLean, Virginia, U.S.A.
6. Arneson, L.A., Zevenbergen, L.W., Lagasse, P.F., and Clopper, P.E. (2012), *Evaluating Scour at Bridges*, Fifth edition, FHWA Report No. FHWA-HIF-12-003, Hydraulic Engineering Circular No. 18 (HEC-18), Office of Bridge Technology, FHWA, Washington, D.C. and NHI, FHWA, Arlington, Virginia, U.S.A.
7. 張昭芸 (2022), 『公路橋梁檢測資料品管制度之蒐集與探討』, 運輸研究專輯, 交通部運輸研究所, 臺北, 臺灣。
8. FHWA (2017), *Metrics for the Oversight of the National Bridge Inspection Program*, FHWA Report No.: HIBS-30, FHWA, Washington, D.C., U.S.A.
9. FHWA (2017), "National Performance Management Measures; Assessing Pavement Condition for the National Highway Performance Program and Bridge Condition for the National Highway Performance Program— 23 CFR Part 490," *Federal Register*, Vol. 82, No. 11, pp. 5886-5970.
10. FHWA (2022), *Memorandum— Implementation of the Specifications for*

- the National Bridge Inventory*, Office of Bridges and Structures, FHWA, Washington, D.C., U.S.A.
11. AASHTO (2018), *Manual for Bridge Evaluation*, 3<sup>rd</sup> edition, AASHTO, Washington, D.C., U.S.A.
  12. AASHTO (2019), *Manual for Bridge Element Inspection*, 2<sup>nd</sup> edition, AASHTO, Washington, D.C., U.S.A.
  13. FHWA (2022), “National Bridge Inspection Standards (NBIS) – 23 CFR Part 650,” *Federal Register*, Vol. 87, No. 88, pp. 27396-27437.
  14. FHWA (2022), *Specifications for the National Bridge Inventory*, FHWA Report No. FHWA-HIF-22-017, Office of Bridges and Structures, FHWA, Washington, D.C., U.S.A.
  15. Guerre, J., Groeger, J., Hecke, S.V., Simpson, A., Rada, G., and Visintine, B. (2012), *Improving FHWA’s Ability to Assess Highway Infrastructure Health— Pilot Study Report*, FHWA Report No. FHWA-HIF-12-049, Office of Assess Management, FHWA, Washington, D.C., U.S.A.
  16. 国土交通省 (2019), 『道路橋定期点検要領』, 国土交通省道路局。
  17. 国土交通省 (2019), 『橋梁定期点検要領』, 国土交通省道路局。
  18. 東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社 (2015), 『保全点検要領 構造物編』, 高速道路総合技術研究所 (NEXCO 総研)。
  19. Hearn, G., Puckett, J., Friedland, I., Everett, T., Hurst, K., Romack, G., Christian, G., Shepard, R., Thompson, T. and Young, R. (2005), *Bridge preservation and maintenance in Europe and South Africa*.
  20. Committee of Transport Officials, TMH 19 Manual for the Visual Assessment of Road Structures Draft Standard (DS) . 2020, South Africa : The South African National Roads Agency SOC Limited.
  21. Committee of Transport Officials, Draft TMH 22 Road Asset Management Manual. 2013, South Africa : The South African National Roads Agency Limited.
  22. 中國大陸交通運輸部 (2011), 『公路橋梁技術狀況評定標準 (JTG/T H21-2011)』。
  23. *Synthesis of National and International Methodologies Used for Bridge Health Indices*, 2016.

24. 交通部(2020),『公路橋梁檢測及補強規範』,交通技術標準規範公路類公路工程部。
25. 交通部(2009),『公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範』,交通技術標準規範公路類公路工程部。
26. 交通部(2015),『公路鋼筋混凝土結構橋梁之檢測及補強規範』,交通技術標準規範公路類公路工程部。
27. 交通部(2020),『公路橋梁耐震評估與補強設計規範』,交通技術標準規範公路類公路工程部。
28. 林三賢(2011),『跨河橋梁安全評估之研究』,交通部運輸研究所。
29. 蔡立宏、羅建明、賴瑞應、謝幼屏(2022),『2022年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查研究資料年報』,交通部運輸研究所港灣技術研究中心。
30. 廖先格(2015),『臺灣地區橋梁管理系統技術提升之研究』,博士論文,國立中央大學土木工程學系。



## 附錄一 專家訪談問卷



## 整橋風險評估模式專家問卷

橋梁管理界的先進及承辦同仁您好，感謝您百忙之中撥冗接受訪談，希望藉重您的專業及豐富的經驗，做為我國整橋風險評估模式建立之重要參考，萬分感謝您接受訪談。

敬祝

鈞安

計畫主持人	中華民國營建管理協會	廖先格	博士
協同主持人	國立中央大學土木系	姚乃嘉	教授
協同主持人	中華顧問工程司	蔡欣局	博士

聯絡人：陳致霖 博士

行動電話：0966-879-316

Email：yz232629@hotmail.com.tw

### 【研究背景】

我國「公路橋梁檢測及補強規範」規定橋梁定期檢測採用 DER&U 目視檢測法，此法針對各構件之劣化程度(Degree)、劣化範圍(Extent)、對安全之影響性(Relevancy)及維修之急迫性(Urgency)給予 1~4 之評等，唯目前規範中無橋梁整體狀況評估之相關說明。另外，規範中提及「橋梁進行定期檢測或特別檢測後，對於安全有疑慮之橋梁進行詳細檢測及結構安全評估」，然目前未針對「安全有疑慮」有一參考之評估模式。

中華民國營建管理協會受交通部運輸研究所委託，以風險之角度出發，欲建立整橋風險評估模式，本研究之標的為**混凝土梁式橋及板橋**，鋼結構橋梁及特殊性橋梁暫不納入。

### 【研究團隊初擬之評估模式】

建立「結構安全評等」及「耐洪安全評等」，再取其中最差之評等值，作為「整橋風險評等」值，分為 I~IV 等(詳下表 1)。

表 1 整橋風險評等

等級	對應之處置
I	尚無進行詳細檢測及安全評估之必要
II	建議針對狀況較差構件進行詳細檢測
III	建議進行詳細檢測及安全評估
IV	盡速進行維修或補強

- 「結構安全評等」分為 I~IV 等(詳下表 2)。

表 2 結構安全評等

等級	對應之處置
I	尚無進行詳細檢測及 <b>結構</b> 安全評估之必要
II	建議針對狀況較差構件進行詳細檢測
III	建議進行詳細檢測及 <b>結構</b> 安全評估
IV	盡速進行維修或補強

結構安全評等由橋況(**結構**性構件)指標 (Structural Condition Index, 簡稱 SCI), 及風險(**結構**安全)指標 (Risk Index for Structural Safety, 簡稱 RIs) 組成之「結構安全橋況與風險矩陣」決定(詳下表 3)。

表 3 結構安全橋況與風險矩陣

		RIs		
		低	中	高
SCI	良好或輕微	I	I	III
	中度	II	II	III
	嚴重	IV	IV	IV

SCI 使用公式一計算：

$$SCI = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \times CS_i)}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (\text{公式一})$$

上式中：

- $n$ ：結構安全相關構件數
- $w_i$ ：構件之權重
- $CS_i$ ：構件狀態，使用公式二及公式三計算，每一個構件依其定期檢測之 D 及 R 值計算出  $CS_{ij}$ ，若同一類型構件有  $j$  個，則取  $CS_{ij}$  中最小值作為  $CS_i$

$$CS_i = \min(CS_{ij}) \quad (\text{公式二})$$

$$CS_{ij} = 100 - 100 \times \frac{D_{ij} \times R_{ij}}{4 \times 4} \quad (\text{公式三})$$

RI<sub>s</sub>視橋梁滿足下表 4 中項目數量決定：

- 3 項以下 RI<sub>s</sub>=低
- 4~5 項 RI<sub>s</sub>=中
- 6 項以上 RI<sub>s</sub>=高

表 4 結構安全風險評估項目

NO	項目
1	最接近第一類活動斷層距離<2km
2	耐震設計規範年度<民國 97 年、未填寫
3	土壤液化潛勢=高、無資料、未填寫
4	橋台/墩基礎型式=無法檢測、不詳、直接基礎
5	橋台/墩基礎深度=不詳、未填寫
6	橋台/墩基 D 值≥3
7	離海岸距離<2km
8	主梁 D≥3 且 R≥3

- 「耐洪安全評等」，僅針對跨河橋進行評等，分為 I~IV 等(詳下表 5)

表 5 耐洪安全評等

等級	對應之處置
I	尚無進行詳細檢測及耐洪安全評估之必要
II	建議針對狀況較差構件進行詳細檢測
III	建議進行詳細檢測及耐洪安全評估
IV	盡速進行維修或補強

耐洪安全評等由橋況(耐洪性構件)指標 (Flood Resistant Capacity Index, 簡稱 FCI), 及風險(耐洪安全)指標 (Risk Index for Flood Resistant, 簡稱 RI<sub>F</sub>) 組成之「耐洪安全橋況與風險矩陣」決定(詳下表 6)。

表 6 耐洪安全橋況與風險矩陣

		RI <sub>F</sub>		
		低	中	高
FCI	良好或輕微	I	I	III
	中度	II	II	III
	嚴重	IV	IV	IV

FCI 使用公式四計算：

$$FCI = \frac{\sum_{i=1}^m (w_i \times CS_i)}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad (\text{公式四})$$

上式中：

- $m$ ：耐洪安全相關構件數
- $w_i$ ：構件之權重
- $CS_i$ ：構件狀態，與 SCI 同樣使用公式二及公式三計算

RI<sub>F</sub> 視橋梁滿足下表 7 中項目數量決定：

- 2 項以下 RI<sub>s</sub>=低
- 3 項 RI<sub>s</sub>=中
- 4 項以上 RI<sub>s</sub>=高

表 7 耐洪安全風險評估項目

NO	項目
1	橋台/墩基礎型式=無法檢測、不詳、直接基礎
2	橋台/墩基礎深度=不詳、未填寫
3	橋台/墩最低支承底部高程<計畫堤頂高程
4	橋台/墩基 D 值 ≥ 3
5	河道劣化類型=上下游開採砂石、河道沖淤或變遷

【問題一】請問對於初步規劃之「整橋風險評等」、「結構安全評等」及「耐洪安全評等」之分等及對應之處置之相關意見？

【問題二】請問對於初步規劃之「結構安全橋況與風險矩陣」及「耐洪安全橋況與風險矩陣」之相關意見？

【問題三】請問對於初步規劃之 SCI 及 FCI 計算方式之相關意見？

【問題四】請問對於初步規劃之  $RI_s$  及  $RI_F$  評估方式及項目之相關意見？

【問題五】請勾選下表中與結構安全相關之構件(計算 SCI 用)及耐洪安全相關之構件(計算 FCI 用)。

NO	構件名稱	與結構安全相關	與耐洪安全相關
1	引道路堤		
2	引道路堤護欄		
3	引道路堤保護措施		
4	河道		
5	護床工		
6	橋台基礎		
7	橋台		
8	翼牆/擋土牆		
9	橋梁排水設施		
10	橋護欄		
11	伸縮縫		
12	支承/支承墊/阻尼裝置		
13	防落設施		
14	橋墩/橋基保護設施		
15	橋墩基礎		
16	橋墩/帽梁		
17	橋墩側向支撐		
18	主梁		
19	橫隔梁		
20	托梁		
21	橋面板		

【問題六】請針對構件損壞時對橋梁在『整體結構安全』、『用路人服務性』、『修復所需時間』、『耐震安全』、『沖刷安全』及『土石流安全』共六個方面之影響程度高低，給予 0~4 之整數或「N/A」，填入值可參考下表進行評估。

	N/A	0	1	2	3	4
整體結構安全	不存在	沒有影響	輕微			嚴重
用路人服務性	不存在	沒有影響	輕微			嚴重
修復所需時間	不存在	(無此情況)	1 天內	1 週	1 個月	半年以上
耐震安全	不存在	沒有影響	輕微			嚴重
沖刷安全	不存在	沒有影響	輕微			嚴重
土石流安全	不存在	沒有影響	輕微			嚴重

請在下表空格中填入 0~4 之整數或「N/A」：

NO	構件名稱	整體結構安全	用路人服務性	修復所需時間	耐震安全	沖刷安全	土石流安全
1	引道路堤						
2	引道路堤護欄						
3	引道路堤保護措施						
4	河道						
5	護床工						
6	橋台基礎						
7	橋台						
8	翼牆/擋土牆						
9	橋梁排水設施						
10	橋護欄						
11	伸縮縫						
12	支承/支承墊/阻尼裝置						
13	防落設施						
14	橋墩/橋基保護設施						
15	橋墩基礎						
16	橋墩/帽梁						
17	橋墩側向支撐						
18	主梁						
19	橫隔梁						
20	托梁						
21	橋面板						

【問題七】請問對整橋風險評估模式有無其他任何意見？

<問卷至此結束>

## 附錄二 專家訪談意見彙整



## 專家訪談意見彙整

發展整橋風險評估模式之整體意見		
NO	專家意見	本研究處理方式
1	立意良善，對橋梁安全有疑慮，且需進行詳細檢測及結構安全評估，提供參考依據。	「整橋風險評等」之說明中納入維修、補強、結構安全評估及改建： I：橋梁狀況良好，若無明顯會造成嚴重危害之因素，可於檢測規範所定範圍內，適度放寬檢測頻率。
2	立意良善，有助於將轄下有安全疑慮之橋梁進行分類，以有限的經費進行分批補強或維修。	II：橋梁狀況尚可，尚未影響結構或耐洪性能。可考慮進行預防性維修。 III：橋梁狀況較差，結構或耐洪性能已受影響。建議進行適當之維修，或調高檢測頻率。
3	對縣市政府有具體幫助，日後或可針對老舊橋梁進行風險排序。	IV：橋梁狀況嚴重，對結構或耐洪性能造成嚴重影響。建議依橋況進行緊急處置或結構安全評估，經評估後採取適當之維修或補強，若難以有效維修或補強，或效益不高時，可考慮改建。
4	可於現行檢測規範制度下，透過 DER&U 值及橋梁基本資料進行評等，提升橋梁養護作業。	在維持現行檢測作業模式下，使用 DER&U 定期檢測紀錄及橋梁管理系統中之基本資料進行評估。
5	使用檢測資料及基本資料計算風險等級，建議要能反映出實際狀況，以避免劣化橋梁未被篩出。	參考公路橋梁耐震評估與補強設計規範之初評項目、臺灣大氣腐蝕劣化因子調查研究資料、公路橋梁設計規範之鹽害環境等級，及公路橋梁耐洪能力初評項目，羅列出風險評估項目。
6	建議後續可用實際案例進行評估及驗證。	已挑選 10 座橋梁進行現地檢測及評估。
7	建議案例橋梁現地檢測時比照美國檢測方式，針對上部結構、下部結構及橋面板進行評等，以交叉比對本計畫整橋風險計算之結果是否相同。	已挑選 3 座橋梁使用美國之方式進行檢測及評估。
8	可以尋找橋管機關合作，舉辦一場討論會議或將計算結果提供給相關單位人員及專家學者檢視，了解是否適用或是需要調整。	已召開專家座談會議，並將整橋風險評估計算結果提供給專家檢視。
9	具鋼纜索之橋梁屬高風險管控之橋梁，建議後續可將之納入整橋風險評估範圍。	已將鋼結構橋梁及特殊橋列為後續研究建議。
10	本評估模式確認後，建議將其他類型橋梁一併納入。	本研究之評估模式尚需更多案例及時間驗證，另外，已將鋼結構橋梁及特殊橋列為後續研究建議。
11	後續是否會將此評等模式套用到橋梁管理系統，如過去的 CI 及 PI 一樣，其評等結果是否有約束力及強制力？	本研究成果目前僅供機關內部參考。

對整橋風險評等方式之意見		
NO	專家意見	本研究處理方式
1	「整橋風險評等」分 4 類，I~IV，符合需求。	「整橋風險評等」結果採 I~IV，共 4 級。
2	分類後對應之結果集中於詳細檢測或結構安全評估恐過於侷限，建議可將維修、改建納入。	已調整「整橋風險評等」結果之說明，僅第 IV 級時會建議進行結構安全評估，並增加「經評估後採取適當之維修或補強，若難以有效維修或補強，或效益不高時，可考慮改建」。
3	縣市政府之板橋多屬小型橋梁，若分類後對應之結果為「需進行安全評估」，直接拆除重建可能較為迅速且符合經濟效益。	已調整「整橋風險評等」結果 IV 之對應文字：橋梁狀況嚴重，對結構或耐洪性能造成嚴重影響。建議依橋況進行緊急處置或結構安全評估，經評估後採取適當之維修或補強，若難以有效維修或補強，或效益不高時，可考慮改建。
4	若以保守方式評等，落在 III、IV 之機會很大，但詳細檢測及結構安全評估經費有限，是否有相關配套措施？	已調整「整橋風險評等」結果之說明，僅第 IV 級時會建議進行結構安全評估。
5	建議部分重要構件(如主梁)若達 U=4，可不進行風險評等，直接採取封橋或維修等緊急處置作為。	本研究之整橋風險評估分類，並未針對時程提出建議，機關仍須依規範，按不同 U 值對應之時程進行維修或處置。
6	建議分類後對應之結果有辦理詳細檢測及結構安全評估之期程。	考量各橋管機關可用經費不同，不建議述明辦理期程。
7	建議以數值表示及判定分類，例如 0~30 分可對應等級 I~II，30~60 分對應等級 III，60 分以上對應等級 IV。	本研究之風險評估採非量化之評估方式。
8	風險評等建議利用橋梁管理系統現有資料進行篩選及判斷。	在維持現行檢測作業模式下，使用 DER&U 定期檢測紀錄及橋梁管理系統中之基本資料進行評估。
9	離海距離可改採港研中心金屬腐蝕速率等級作為判定標準。	已納入「碳鋼金屬腐蝕速率為 C5 或 CX」，另參考公路橋梁設計規範，調整離海距離為「離海岸 300 公尺以內」。
10	針對結構安全風險，建議達到某些條件時才進入評估。(例如：當主梁有劣化時，再視是否滿足離海岸距離<2km 之條件)	已增加風險評估啟動條件：基礎裸露、主要構件裂縫或鋼筋外露。未達啟動條件時，風險均為「低」，達啟動條件後，再視滿足幾項評估條件決定風險屬「低」、「中」或「高」。
11	耐洪安全評等是否有包含跨越區排、野溪或山坑之橋梁？依實務來看區排也有基礎裸露情形，建議將跨區排橋梁列入。	已將所有「跨水橋」納入「耐洪安全評等」範圍。
12	建議將上、下游側固床工或其它河道保護工納入耐洪安全風險評等項目中。	已納入「上下游 500 公尺內是否有攔河堰」及「上下游 500 公尺內是否有橋梁」。
13	針對耐洪安全風險，建議當基礎有裸露時才進入評估。	已增加風險評估啟動條件：基礎裸露。未達啟動條件時，風險均為「低」，達啟動條件後，再視滿足幾項評估條件決定風險屬「低」、

對整橋風險評等方式之意見		
NO	專家意見	本研究處理方式
		「中」或「高」。

對橋況指標計算之意見		
NO	專家意見	本研究處理方式
1	長橋如何避免重要構件劣化嚴重，因計算式而被稀釋反而呈現狀況良好。	當同一類型構件有多個時，取劣化最嚴重者代表該類構件。
2	構件之 $CS_{ij}$ 為0時，是否會影響整橋風險評估？於公式可備註， $CS_{ij}$ 可以為0。	已增加文字說明，當D、R均為4時，構件狀態指標為0。
3	$CS_{ij}$ 計算可不考慮E值，但需清楚說明考量點為何。	移除E值，原因有兩點，一為目前定期檢測時，針對同一構件有多處劣化時，部分檢測單位會對同一類型劣化填一組DER值，亦有一處填一組DER值者，造成填寫上未能統一；二為E值對構件狀態之影響不若D及R值重要，以混凝土主梁而言，乾縮潛變裂縫即使E=4，實務上多屬持續追蹤；又如白華無銹水時D=2，E可能為3~4，但U=1~2；但若出現撓曲裂縫，即使E=1，U即可能評到4。
4	構件之權重 $w_i$ 如何訂定，建議後續提供範例作為輔助計算。	構件之權重使用廖先格(2015)所提出之重要指標概念，並於本計畫中透過專家問卷重新調查而得。
5	橋況指標計算結果需定義「良好或輕微」、「中度」及「嚴重」之分數範圍。	已將SCI及FCI分為良好、輕微、中等及嚴重共4等，分數區間為： 良好：100~98 輕微：98~85 中等：85~60 嚴重：60~0
6	應思考如何訂定合理橋況指標範圍數值，避免誤入過去計算出CI分數較高，但無法反映出實際橋況。	本研究僅選用關鍵構件進行計算，另將構件分屬3大部位，以部位狀態指標加權後計算出SCI及FCI。

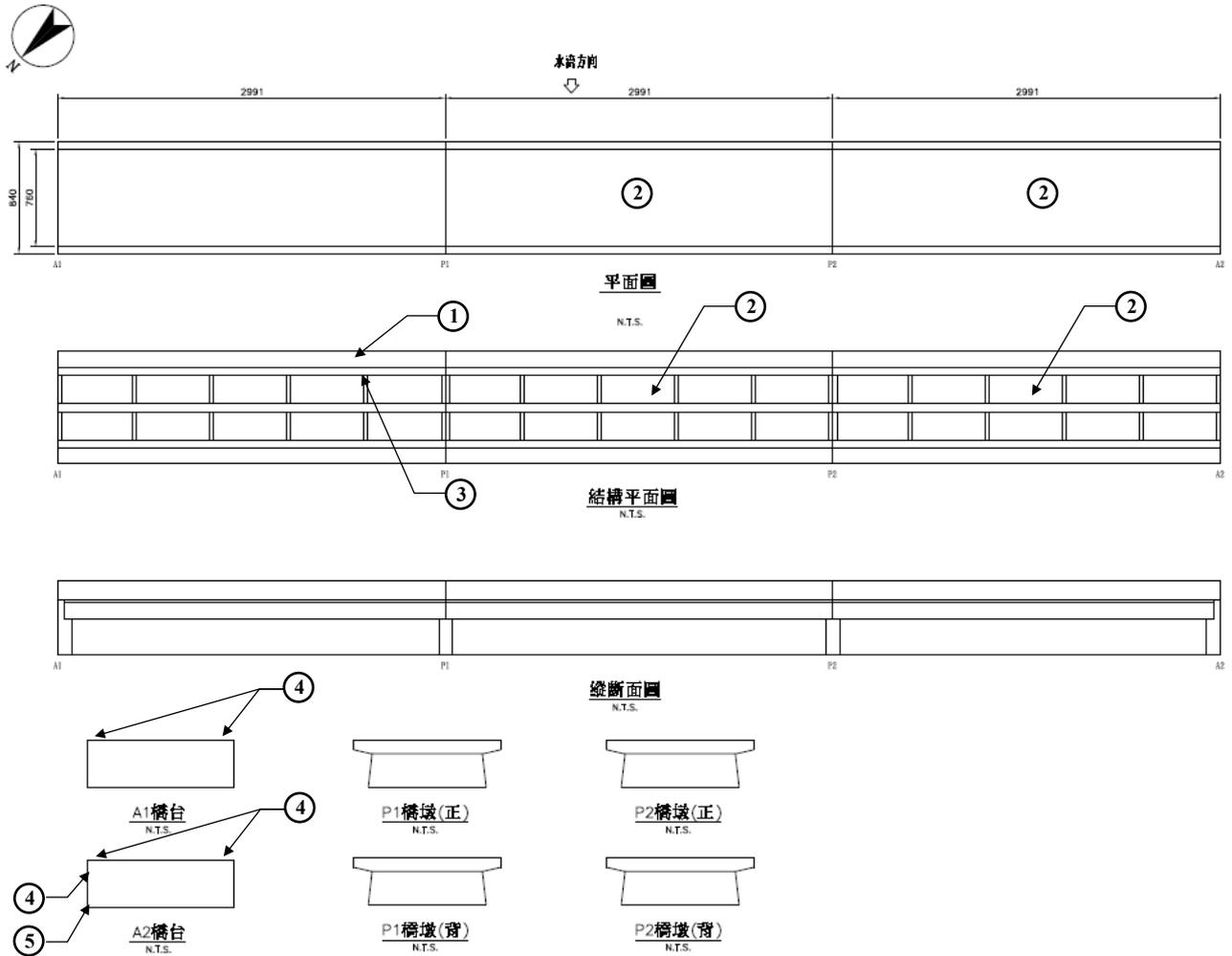


## 附錄三 以美國方法評等之 3 座案例橋檢測紀錄



# 以美國橋梁評等方法之檢測成果 (橋梁代號 06)

## 一、橋梁草圖



註：圓形標號為構件缺陷編號

## 二、構件數量(Element Quantities)

### 1. 橋面系統

- 橋面板(Deck)/板橋(Slab):

✓ 鋼筋混凝土橋面板(EN 12):  $8.4 \text{ m} \times 29.91 \text{ m} \times 3 \text{ span} = 753.732 \text{ m}^2$

### 2. 上部結構

- 主梁

✓ 預力混凝土梁(EN 109):  $29.91 \text{ m} \times 3 \text{ (girders)} \times 3 \text{ span} = 269.19 \text{ m}$

- 橫隔梁

✓ 鋼筋混凝土橫隔梁(EN 155):  $2.14 \text{ m} \times 2 \text{ 個} \times 6 \text{ rows} \times 3 \text{ spans} = 77.04 \text{ m}$

### 3. 下部結構

- 墩柱

✓ 鋼筋混凝土壁式橋墩 (EN 210):墩寬(長邊) $7.893 \text{ m} \times 2 \text{ 個} \text{ (P1、P2)} = 15.786 \text{ m}$

- 帽梁

✓ 鋼筋混凝土橋墩帽梁 (EN 234):  $8.4 \text{ m} \times 2 \text{ 墩} = 16.8 \text{ m}$

- 橋台

✓ 鋼筋混凝土橋台 (EN 215):  $[8.4 \text{ m} + 1.5 \text{ m} \text{ (翼牆寬)}] \times 2 \text{ 側} \times 2 \text{ 端橋台} = 22.8 \text{ m}$

- 基礎

✓ 略，基本資料不詳且無法檢測

### 4. 河道: 略

### 5. 河道保護設施: 護床工

### 6. 引道: 略

### 三、構件劣化狀況評等(Element condition states)

- Defect #1, 鋼筋混凝土橋面板 Reinforced Concrete Deck (Element 12)  
橋面板混凝土剝落(Defect #1080), 面積約  $0.15\text{ m} \times 0.05\text{ m}$ , 劣化評等為 CS2。



S01 橋面板(懸臂板處)混凝土剝落

- Defect #2, 鋼筋混凝土橋面板 Reinforced Concrete Deck (Element 12)  
橋面板混凝土裂縫(Defect #1130)、滲水白華(Defect #1120), S02-S03 跨橋面板全面均有該劣化情形, 面積為  $29.91\text{ m} \times 8.4\text{ m} \times 2$  跨, 約為  $502\text{ m}^2$ , 劣化評等為 CS2。



S02-S03 橋面板混凝土裂縫、滲水白華

- Defect #3, 預力混凝土梁 Prestressed Concrete Open Girder (Element 109)  
1G1 主梁與橫梁交界處鋼筋外露 0.5 m (Defect #1090), 但無斷面損失情形, 劣化評等為 CS2。



1G1 主梁與橫梁交界處鋼筋外露

- Defect #4, 鋼筋混凝土橋台 Reinforced Concrete Abutment (Element 215)  
橋台背牆及側牆混凝土裂縫(Defect #1130), 裂縫寬度(0.04 in)介於 0.012~0.05 in 間, 劣化評等為 CS2。



(a) A1 橋台背牆



A2 橋台側牆

A1、A2 橋台背牆及 A2 側牆混凝土裂縫

- Defect #5, 鋼筋混凝土橋台 Reinforced Concrete Abutment (Element 215)  
A2 橋台左側翼牆掏空(Defect #6000), 掏空寬度(1.5 m)、高度 0.6 m, 仍在容許限制範圍內, 劣化評等為 CS2。



A2 橋台左側翼牆掏空

#### 四、構件數量及劣化狀況統計

Element Number	Element Description	Unit of Measure	Total Quantity	CS1	CS2	CS3	CS4	Defect #*
12	Reinforced Concrete Deck	m <sup>2</sup>	753.7	251.7	502.0	0	0	
<i>1080</i>	<i>Spall</i>	<i>m<sup>2</sup></i>	0.01	0	0.01	0	0	1
<i>1120</i>	<i>Efflorescence / Rust</i>	<i>m<sup>2</sup></i>	502	0	502	0	0	2
<i>1130</i>	<i>Staining</i>							
	<i>Cracking (RC)</i>							
109	Prestressed Concrete Open Girder	m	269.2	268.7	0.5	0	0	
<i>1090</i>	<i>Exposed Rebar</i>	<i>m</i>	0.5	0	0.5	0	0	3
155	Reinforced Concrete Floor beam	<i>m</i>	77.04	77.04	0	0	0	
210	Reinforced Concrete Pier Wall	<i>m</i>	15.8	15.8	0	0	0	
215	Reinforced Concrete Abutment	m	22.8	17.5	5.3	0	0	
<i>1130</i>	<i>Cracking (RC)</i>	<i>m</i>	3.8	0	3.8	0	0	4
<i>6000</i>	<i>Scour</i>	<i>m</i>	1.5	0	1.5	0	0	5

附註：

\*劣化編號詳見橋梁草圖缺陷位置。

- 不同劣化類別應分開表列，並依據不同 CS 等級計算數量。若不同劣化類別但 CS 等級相同，機關可擇一種比較顯著的(佔主導地位的、佔絕大多數的)劣化類別表列。
- 灰色欄底為 National Bridge Element (NBE)。
- 藍色欄底為 Bridge Management Element (BME)。
- 斜體字為劣化類型。

五、橋梁狀況評等(Bridge Condition)

Item ID	Item	Code	Condition	Description
B.C.01	Deck Condition Rating	6	Satisfactory	Widespread minor defects
B.C.02	Superstructure Condition Rating	7	Good	Some minor defects
B.C.03	Substructure Condition Rating	7	Good	Some minor defects
B.C.04	Culvert Condition Rating	N.A.	N.A.	N.A.
B.C.09	Channel Condition Rating	7	Good	Some minor defects
B.C.10	Channel Protection Condition Rating	N.A.	N.A.	N.A.
B.C.11	Scour Condition Rating	7	Good	Some minor scour
B.C.12	Bridge Condition Classification	F	Fair	Lowest condition rating 6

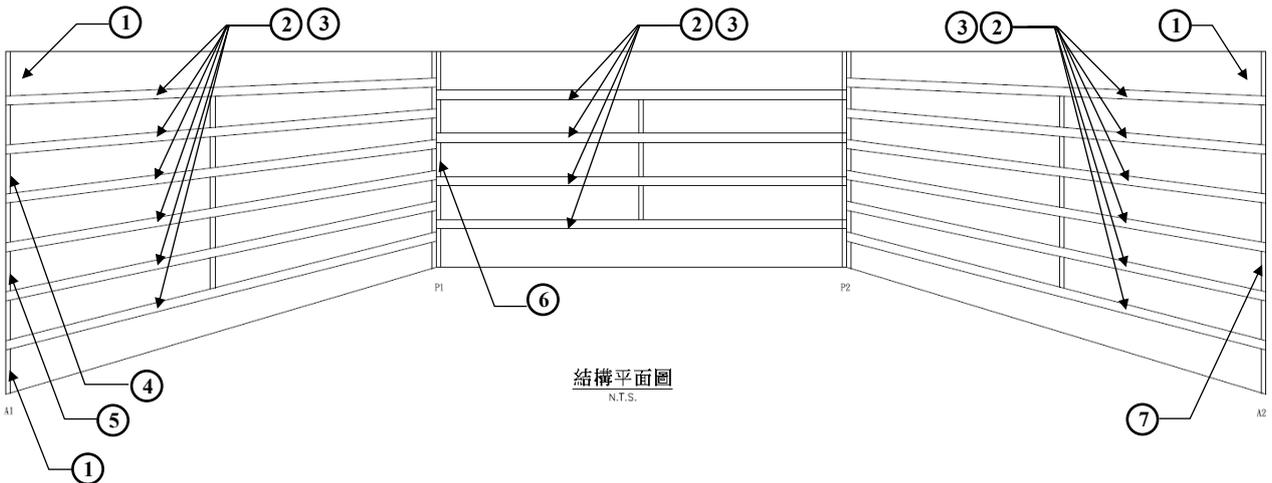
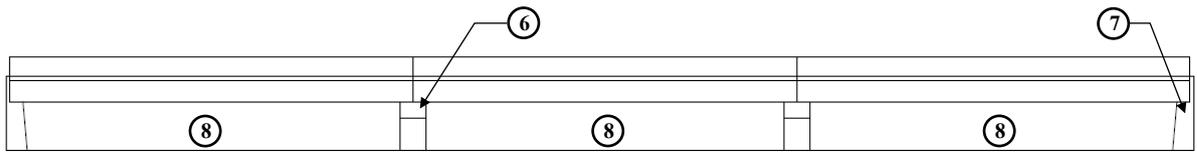
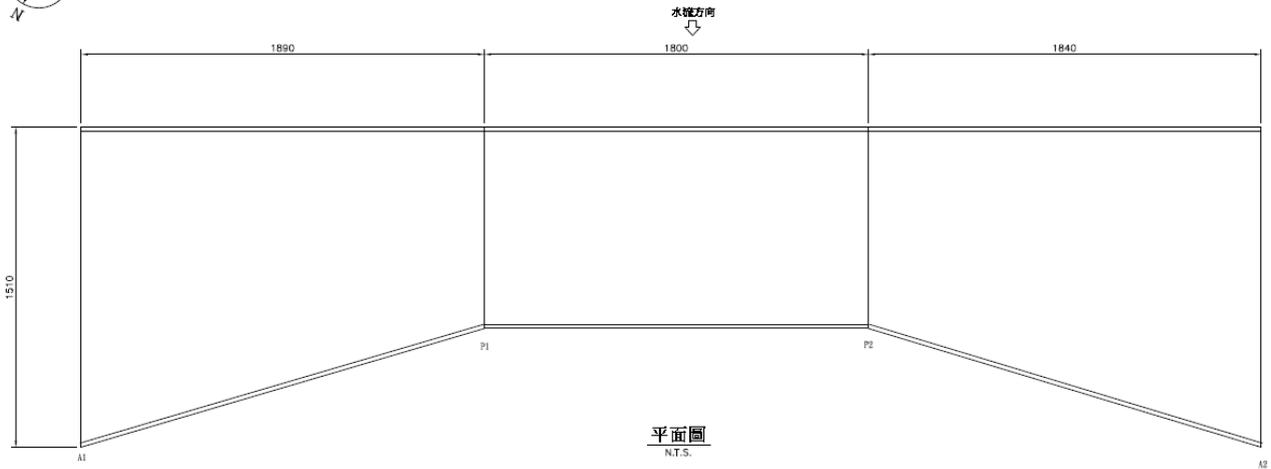
註

<u>Code</u>	<u>Condition</u>	<u>Lowest Condition Rating</u>
G	Good	7, 8, or 9
F	Fair	5 or 6
P	Poor	4, 3, 2, 1, or 0

<b><i>Bridge Condition Classification</i></b>														
<u>Format</u> AN (1)	<u>Frequency</u> C	<u>Item ID</u> B.C.12												
Specification	Commentary													
<p>This item is calculated by FHWA and is not required to be reported. The bridge condition classification is indicated using one of the following codes.</p> <table> <thead> <tr> <th><u>Code</u></th> <th><u>Condition</u></th> <th><u>Lowest Condition Rating</u></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>G</td> <td>Good</td> <td>7, 8, or 9</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>Fair</td> <td>5 or 6</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>Poor</td> <td>4, 3, 2, 1, or 0</td> </tr> </tbody> </table>	<u>Code</u>	<u>Condition</u>	<u>Lowest Condition Rating</u>	G	Good	7, 8, or 9	F	Fair	5 or 6	P	Poor	4, 3, 2, 1, or 0	<p>For the purposes of national performance measures, the method of assessment to determine the classification of a bridge is the minimum (i.e. lowest) condition rating code from the following items:</p> <p>B.C.01 (<i>Deck Condition Rating</i>),                      B.C.02 (<i>Superstructure Condition Rating</i>),                      B.C.03 (<i>Substructure Condition Rating</i>), and                      B.C.04 (<i>Culvert Condition Rating</i>).</p>	
<u>Code</u>	<u>Condition</u>	<u>Lowest Condition Rating</u>												
G	Good	7, 8, or 9												
F	Fair	5 or 6												
P	Poor	4, 3, 2, 1, or 0												

# 以美國橋梁評等方法之檢測成果 (橋梁代號 07)

## 一、橋梁草圖



註：圓形標號為構件缺陷編號

## 二、構件數量(Element Quantities)

### 7. 橋面系統

- 橋面板(Deck)/板橋(Slab)

✓ 鋼筋混凝土橋面板(EN 12):  $[232.47 \text{ m}^2 \text{ (span 1)} + 18 \text{ m} \times 9.5 \text{ m (span 2)} + 226.32 \text{ m}^2 \text{ (span 3)}] = 629.79 \text{ m}^2$

### 8. 上部結構

- 主梁

✓ 預力混凝土梁(EN 109):  $18.9 \text{ m} \times 6 \text{ (girders)} + 18 \text{ m} \times 4 \text{ (girders)} + 18.4 \text{ m} \times 6 \text{ (girders)} = 295.8 \text{ m}$

- 橫隔梁

✓ 鋼筋混凝土橫隔梁(EN 155):  $[2.3 \text{ m} \times 5 \text{ 個} + 9.37 \text{ m(兩端長內插)} + 2.3 \text{ m} \times 5 \text{ 個} \times 9.5/15.1 \text{ (span 1)}] + [2.3 \text{ m} \times 3 \text{ 個} \times 3 \text{ 列 (span 2)}] + 28.11 \text{ m (span 3)}] = 76.92 \text{ m}$

### 9. 下部結構

- 墩柱

✓ 鋼筋混凝土柱式橋墩(EN 205): 1 個 (P1) + 1 個(P2) = 2 個

- 帽梁

✓ 鋼筋混凝土橋墩帽梁(EN 234):  $9.5 \text{ m} \times 2 \text{ 墩} = 19 \text{ m}$

- 橋台

✓ 鋼筋混凝土橋台(EN 215):  $18.9 \text{ m (A1)} + 18.4 \text{ m (A2)} = 37.3 \text{ m}$

- 基礎

✓ 略，基本資料不詳且無法檢測

### 10. 河道: 略

### 11. 河道保護設施: 略

### 12. 引道: 略

### 三、構件劣化狀況評等(Element condition states)

- Defect #1, 鋼筋混凝土橋面板 Reinforced Concrete Deck (Element 12)  
橋面板混凝土剝落(Defect #1080), 面積約  $2\text{ m}^2 + 1\text{ m}^2$  (參考亞泰檢測結果), 劣化評等為 CS3。



A1、A2 伸縮縫處橋面板混凝土剝落、鋼筋外露

- Defect #2, 預力混凝土梁 Prestressed Concrete Open Girder (Element 109)  
全橋多數主梁腹板混凝土層隙、剝落(Defect #1080), 面積約  $6.7\text{ m}^2$ , 劣化評等為 CS3。



主梁腹板層隙、剝落

- Defect #3, 預力混凝土梁 Prestressed Concrete Open Girder (Element 109)  
全橋多數主梁腹板混凝土鋼筋外露、銹蝕且斷面損失(Defect #1090), 面積約 84.7 m<sup>2</sup>, 劣化評等為 CS3。



主梁混凝土剝落、鋼筋外露

- Defect #4, 鋼筋混凝土橫隔梁 Reinforced Concrete Floor Beam (Element 155)  
橫隔梁混凝土剝落(Defect #1080), 面積約 0.6 m×0.5 m = 0.3 m<sup>2</sup>, 剝落深度大於 1 in, 直徑大於 6 in, 劣化評等為 CS3。



Defect #4 橫隔梁混凝土剝落



Defect #5 橫隔梁混凝土裂縫

- Defect #5, 鋼筋混凝土橫隔梁 Reinforced Concrete Floor Beam (Element 155)  
橫隔梁混凝土裂縫(Defect #1130), 裂縫寬度(0.02 in)介於 0.012~0.05 in 間, 所占範圍約 1m, 劣化評等為 CS2。
- Defect #6, 鋼筋混凝土橋墩帽梁 Reinforced Concrete Floor Beam (Element 220)  
帽梁混凝土裂縫(Defect #1130), 裂縫寬度(0.02 in)介於 0.012~0.05 in 間, 所占範圍約 1m, 劣化評等為 CS2。



Defect #6 橋墩帽梁混凝土裂縫



Defect #7 橋台混凝土裂縫

- Defect #7, 鋼筋混凝土橋台 Reinforced Concrete Floor Beam (Element 215)  
橋台混凝土裂縫(Defect #1130)，裂縫寬度(0.02 in)介於 0.012~0.05 in 間，所占範圍約 1 m，劣化評等為 CS2。
- Defect #8, 河道 Channel (Element N.A.)  
橋梁鄰近出海口，河道嚴重淤積，潮汐滿潮水位已達梁底，主梁梁底並有藤壺攀附情形。



河道淤積情形

#### 四、構件數量及劣化狀況統計

Element Number	Element Description	Unit of Measure	Total Quantity	CS1	CS2	CS3	CS4	Defect #*
12	Reinforced Concrete Deck	m <sup>2</sup>	629.8	626.8	0	3	0	
<i>1080</i>	<i>Delamination/Spall/Patched Area</i>	<i>m<sup>2</sup></i>	3	0	0	3	0	1
109	Prestressed Concrete Open Girder	m	295.8	204.4	0	91.4	0	
<i>1080</i>	<i>Delamination/Spall</i>	<i>m<sup>2</sup></i>	6.7	0	0	6.7	0	2
<i>1090</i>	<i>Exposed Rebar</i>	<i>m</i>	84.7	0	0	84.7	0	3
155	Reinforced Concrete Floor Beam	M	76.9	75.6	1	0.3	0	
<i>1080</i>	<i>Spall</i>	<i>m<sup>2</sup></i>	0.3	0	0	0.3	0	4
<i>1130</i>	<i>Cracking (RC)</i>	<i>m</i>	1	0	1	0	0	5
220	Reinforced Concrete Pier Cap	m	19	18	1	0	0	
<i>1130</i>	<i>Cracking (RC)</i>	<i>m</i>	1	0	1	0	0	6
215	Reinforced Concrete Abutment	m	37.3	36.3	1	0	0	
<i>1130</i>	<i>Cracking (RC)</i>	<i>m</i>	1	0	1	0	0	7

附註：

\*劣化編號詳見橋梁草圖缺陷位置。

- 不同劣化類別應分開表列，並依據不同 CS 等級計算數量。若不同劣化類別但 CS 等級相同，機關可擇一種比較顯著的(佔主導地位的、佔絕大多數的)劣化類別表列。
- 灰色欄底為 National Bridge Element (NBE)。
- 藍色欄底為 Bridge Management Element (BME)。
- 斜體字為劣化類型。

五、橋梁狀況評等(Bridge Condition)

Item ID	Item	Code	Condition	Description
B.C.01	Deck Condition Rating	6	Satisfactory	Isolated moderate defects
B.C.02	Superstructure Condition Rating	4	Poor	Widespread moderate defects Strength or performance of component is affected
B.C.03	Substructure Condition Rating	7	Good	Some minor defects
B.C.04	Culvert Condition Rating	N.A.	N.A.	N.A.
B.C.09	Channel Condition Rating	4	Poor	Widespread moderate defects
B.C.10	Channel Protection Condition Rating	N.A.	N.A.	N.A.
B.C.11	Scour Condition Rating	9	N.A.	No scour
B.C.12	Bridge Condition Classification	P	Poor	Lowest condition rating 4

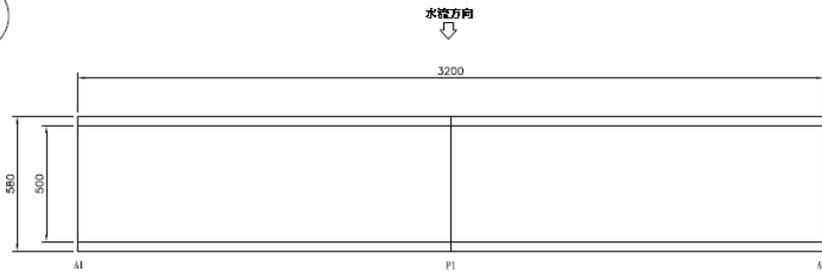
註

<u>Code</u>	<u>Condition</u>	<u>Lowest Condition Rating</u>
G	Good	7, 8, or 9
F	Fair	5 or 6
P	Poor	4, 3, 2, 1, or 0

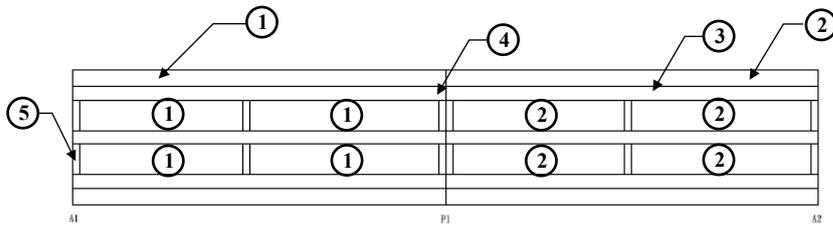
<b>Bridge Condition Classification</b>														
<u>Format</u> AN (1)	<u>Frequency</u> C	<u>Item ID</u> B.C.12												
Specification	Commentary													
<p>This item is calculated by FHWA and is not required to be reported. The bridge condition classification is indicated using one of the following codes.</p> <table> <thead> <tr> <th><u>Code</u></th> <th><u>Condition</u></th> <th><u>Lowest Condition Rating</u></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>G</td> <td>Good</td> <td>7, 8, or 9</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>Fair</td> <td>5 or 6</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>Poor</td> <td>4, 3, 2, 1, or 0</td> </tr> </tbody> </table>	<u>Code</u>	<u>Condition</u>	<u>Lowest Condition Rating</u>	G	Good	7, 8, or 9	F	Fair	5 or 6	P	Poor	4, 3, 2, 1, or 0	<p>For the purposes of national performance measures, the method of assessment to determine the classification of a bridge is the minimum (i.e. lowest) condition rating code from the following items:</p> <p>B.C.01 (<i>Deck Condition Rating</i>), B.C.02 (<i>Superstructure Condition Rating</i>), B.C.03 (<i>Substructure Condition Rating</i>), and B.C.04 (<i>Culvert Condition Rating</i>).</p>	
<u>Code</u>	<u>Condition</u>	<u>Lowest Condition Rating</u>												
G	Good	7, 8, or 9												
F	Fair	5 or 6												
P	Poor	4, 3, 2, 1, or 0												

# 以美國橋梁評等方法之檢測成果 (橋梁代號 10)

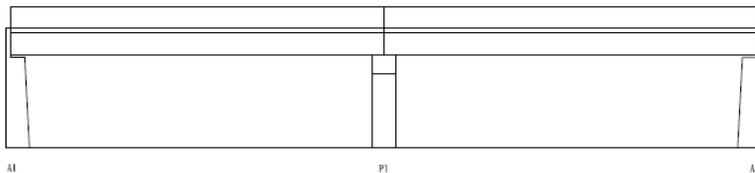
## 一、橋梁草圖



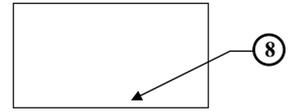
平面圖  
N.T.S.



結構平面圖  
N.T.S.



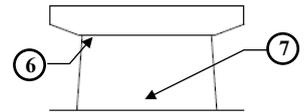
縱斷面圖  
N.T.S.



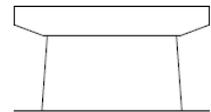
A1橋台  
N.T.S.



A2橋台  
N.T.S.



P1橋墩(正)  
N.T.S.



P1橋墩(背)  
N.T.S.

註：圓形標號為構件缺陷編號

## 二、構件數量(Element Quantities)

### 13. 橋面系統

- 橋面板(Deck)/板橋(Slab):
  - ✓ 鋼筋混凝土橋面板(EN 12):  $5.8 \text{ m} \times 32 \text{ m} = 185.6 \text{ m}^2$

### 14. 上部結構

- 主梁
  - ✓ 鋼筋混凝土 T 梁(EN 110):  $32 \text{ m} \times 3 \text{ (girders)} = 96 \text{ m}$
- 橫隔梁
  - ✓ 鋼筋混凝土橫隔梁(EN 155):  $(1.45 \text{ m} \times 2 \text{ 個} \times 3 \text{ 列} + \text{托梁 } 0.6 \text{ m} \times 2 \text{ 個} \times 2 \text{ 列}) \times 2 \text{ spans} = 22.2 \text{ m}$

### 15. 下部結構

- 墩柱
  - ✓ 鋼筋混凝土壁式橋墩 (EN 210):  $4 \text{ m}(\text{長邊}) \times 1 \text{ 個 (P1)} = 4 \text{ m}$
- 帽梁
  - ✓ 鋼筋混凝土橋墩帽梁 (EN 234):  $5.8 \text{ m} \times 1 \text{ 墩} = 5.8 \text{ m}$
- 橋台
  - ✓ 鋼筋混凝土橋台 (EN 215):  $5.8 \text{ m (A1)} + 5.8 \text{ m (A2)} = 11.6 \text{ m}$
- 基礎
  - ✓ 略，基本資料不詳且無法檢測

16. 河道: 略

17. 河道保護設施: 略

18. 引道: 略

### 三、構件劣化狀況評等(Element condition states)

- Defect #1, 鋼筋混凝土橋面板 Reinforced Concrete Deck (Element 12)  
S01 跨橋面板修補 *Patched Area* (Defect #1080), 修復狀況完整, 面積約: 主梁間橋面板  $1.45\text{ m} \times 2 \times 16\text{ m}$  + 懸臂板  $0.6\text{ m} \times 16/2\text{ m} \times 2$  側 =  $56\text{ m}^2$ , 劣化評等為 CS2。
- Defect #2, 鋼筋混凝土橋面板 Reinforced Concrete Deck (Element 12)  
S02 跨橋面板修補 *Patched Area* (Defect #1080), 修復狀況完整, 面積約: 主梁間橋面板  $(1.45\text{ m} \times 16\text{ m} \times 2 + \text{懸臂板 } 0.6\text{ m} \times 16\text{ m} \times 2 \text{ 側}) = 65.6\text{ m}^2$ , 劣化評等為 CS2。



S01、S02 橋面板混凝土修補

- Defect #3, 鋼筋混凝土梁 Reinforced Concrete Open Girder (Element 110)  
2G1 處裂縫(Defect #1130), 裂縫寬度(0.02 in)介於 0.012~0.05 in 間, 所占範圍約 7 m;  
2G1 處剝落(Defect #1080), 深度小於 1 in, 直徑小於 6 in, 劣化評等為 CS2。
- Defect #4, 鋼筋混凝土梁 Reinforced Concrete Open Girder (Element 110)  
1G1 處裂縫(Defect #1130), 裂縫寬度大於 0.05 in, 所占範圍約 0.5 m, 劣化評等為 CS3。



Defect #3 主梁混凝土剝落



Defect #4 主梁混凝土裂縫

- Defect #5, 鋼筋混凝土橫隔梁 Reinforced Concrete Floor Beam (Element 155)  
2D3-1, 2D3-2 橫隔梁混凝土修補(Defect #1080), 修復狀況完整, 所占範圍約(0.6 m + 0.4 m) \* 1.45 m = 1.45 m<sup>2</sup>, 劣化評等為 CS2。



2D3-1, 2D3-2 橫隔梁混凝土修補

- Defect #6, 鋼筋混凝土壁式橋墩 Reinforced Concrete Pier Wall (Element 210)  
壁式橋墩裂縫(Defect #1130), 裂縫寬度大於 0.05 in, 所占範圍約 0.5 m, 劣化評等為 CS3。
- Defect #7, 鋼筋混凝土壁式橋墩 Reinforced Concrete Pier Wall (Element 210)  
壁式橋墩混凝土磨損(Defect #1190), 粗骨材外露但未脫落, 所占範圍約 4 m, 劣化評等為 CS2。



Defect #6 橋墩混凝土裂縫



Defect #7 橋墩混凝土磨損

- Defect #8, 鋼筋混凝土橋台 Reinforced Concrete Abutment (Element 215)  
A01 橋台胸牆混凝土磨損(Defect #1190)，粗骨材外露但未脫落，所占範圍約 5.8 m，劣化評等為 CS2



Defect #8 橋台混凝土磨損

#### 四、構件數量及劣化狀況統計

Element Number	Element Description	Unit of Measure	Total Quantity	CS1	CS2	CS3	CS4	Defect #*
12	Reinforced Concrete Deck	<i>m<sup>2</sup></i>	185.6	64	121.6	0	0	
<i>1080</i>	<i>Delamination/Spall/Patched Area</i>	<i>m<sup>2</sup></i>	<i>121.6</i>	0	121.6	0	0	<i>1,2</i>
110	Reinforced Concrete Open Girder	<i>m</i>	96	87.5	7	0.5	0	
<i>1080</i>	<i>Delamination/Spall/Patched Area</i>	<i>m<sup>2</sup></i>	<i>1</i>	0	1	0	0	<i>3</i>
<i>1130</i>	<i>Cracking (RC)</i>	<i>m</i>	<i>7.5</i>	0	7	0.5	0	<i>3, 4</i>
155	Reinforced Concrete Floor beam	<i>m</i>	22.2	20.7	1.5	0	0	
<i>1080</i>	<i>Delamination/Spall/Patched Area</i>	<i>m<sup>2</sup></i>	<i>1.5</i>	0	1.5	0	0	<i>5</i>
210	Reinforced Concrete Pier Wall	<i>m</i>	4	0	3.5	0.5	0	
<i>1130</i>	<i>Cracking (RC)</i>	<i>m</i>	<i>0.5</i>	0	0	0.5	0	<i>6</i>
<i>1190</i>	<i>Abrasion/Wear</i>	<i>m</i>	<i>4</i>	0	3.5	0	0	<i>7</i>
215	Reinforced Concrete Abutment	<i>m</i>	11.6	5.8	5.8	0	0	
<i>1190</i>	<i>Abrasion/Wear</i>	<i>m</i>	<i>5.8</i>	0	5.8	0	0	<i>8</i>

附註：

\*劣化編號詳見橋梁草圖缺陷位置。

- 不同劣化類別應分開表列，並依據不同 CS 等級計算數量。若不同劣化類別但 CS 等級相同，機關可擇一種比較顯著的(佔主導地位的、佔絕大多數的)劣化類別表列。
- 灰色欄底為 National Bridge Element (NBE)。
- 藍色欄底為 Bridge Management Element (BME)。
- 斜體字為劣化類型。

五、橋梁狀況評等(Bridge Condition)

Item ID	Item	Code	Condition	Description
B.C.01	Deck Condition Rating	6	Satisfactory	Widespread minor defects.
B.C.02	Superstructure Condition Rating	6	Satisfactory	Isolated moderate defects.
B.C.03	Substructure Condition Rating	6	Satisfactory	Isolated moderate defects.
B.C.04	Culvert Condition Rating	N.A.	N.A.	N.A.
B.C.09	Channel Condition Rating	7	Good	Some minor defects.
B.C.10	Channel Protection Condition Rating	8	Very Good	Some inherent defects.
B.C.11	Scour Condition Rating	7	Good	Some minor scour
B.C.12	Bridge Condition Classification	F	Fair	Lowest condition rating 6

註

<u>Code</u>	<u>Condition</u>	<u>Lowest Condition Rating</u>
G	Good	7, 8, or 9
F	Fair	5 or 6
P	Poor	4, 3, 2, 1, or 0

<b>Bridge Condition Classification</b>														
<u>Format</u> AN (1)	<u>Frequency</u> C	<u>Item ID</u> B.C.12												
Specification		Commentary												
<p>This item is calculated by FHWA and is not required to be reported. The bridge condition classification is indicated using one of the following codes.</p> <table> <thead> <tr> <th><u>Code</u></th> <th><u>Condition</u></th> <th><u>Lowest Condition Rating</u></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>G</td> <td>Good</td> <td>7, 8, or 9</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>Fair</td> <td>5 or 6</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>Poor</td> <td>4, 3, 2, 1, or 0</td> </tr> </tbody> </table>		<u>Code</u>	<u>Condition</u>	<u>Lowest Condition Rating</u>	G	Good	7, 8, or 9	F	Fair	5 or 6	P	Poor	4, 3, 2, 1, or 0	<p>For the purposes of national performance measures, the method of assessment to determine the classification of a bridge is the minimum (i.e. lowest) condition rating code from the following items:</p> <p>B.C.01 (<i>Deck Condition Rating</i>),                      B.C.02 (<i>Superstructure Condition Rating</i>),                      B.C.03 (<i>Substructure Condition Rating</i>), and                      B.C.04 (<i>Culvert Condition Rating</i>).</p>
<u>Code</u>	<u>Condition</u>	<u>Lowest Condition Rating</u>												
G	Good	7, 8, or 9												
F	Fair	5 or 6												
P	Poor	4, 3, 2, 1, or 0												



## 附錄四 崙天大橋及高寮大橋整橋風險評估結果



## 崙天大橋及高寮大橋整橋風險評估結果

2022 年 9 月 18 臺東池上發生規模 6.8 之強震，造成崙天大橋及高寮大橋斷橋，利用交通部「車行橋梁管理資訊系統」內兩座橋之橋梁基本資料，以及斷橋前最近一筆定期檢測紀錄（2021 年檢測）進行計算及評估，評估結果如附表 1 所示，兩橋之整橋風險評等均為 IV，各橋之 SCI 及 FCI 計算詳附表 2 及附表 3，各橋之  $RI_S$  及  $RI_F$  評估詳附表 4 及附表 5。

附表 1 崙天大橋及高寮大橋整橋風險評估結果

橋梁名稱	SCI 分數	SCI 分類	$RI_S$ 分類	結構安全評等	FCI 分數	FCI 分類	$RI_F$ 分類	耐洪安全評等	整橋風險評等
崙天大橋	68.44	中等	高	IV	86.76	輕微	高	III	IV
高寮大橋	57.03	嚴重	中	IV	95.54	良好	低	I	IV

附表 2 崙天大橋 SCI 及 FCI 計算結果

橋梁名稱：崙天大橋										SCI			FCI		
NO	構件名稱	D	E	R	U	劣化類型	ES <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>		
1	引道路堤	2	1	2	2		93.750								
2	引道路堤護欄	2	1	2	2		93.750								
3	引道路堤保護措施	1					100.000								
4	河道	1					100.000				100.000	1.968	26.184		
5	護床工	1					100.000				100.000	1.883	25.053		
6	橋台基礎	0													
7	橋台	2	2	2	2		93.750								
8	翼牆/擋土牆	3	1	2	2		85.938								
9	橋梁排水設施	1					100.000								
10	橋護欄	2	1	2	2		93.750								
11	伸縮縫	2	3	2	2		93.750								
12	支承/支承墊/阻尼裝置	2	2	2	2		93.750								
13	防落設施	1					100.000								
14	橋墩/橋基保護設施	2	3	1	1	防撞鋼板損傷	98.438								
15	橋墩基礎	3	2	2	2	基礎沖刷、裸露、掏空	85.938	85.938	3.665	37.424	85.938	3.665	41.905		
16	橋墩/帽梁	3	1	2	2	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	85.938								
17	橋墩側向支撐	0													
18	主梁	3	2	3	3	混凝土剝落、破碎、鋼筋、鋼腱或錨碇	68.359	68.359	2.526	20.518					
19	橫隔梁	2	1	1	1		98.438								
20	托梁	0													
21	橋面板	2	1	2	2	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	93.750	93.750	2.225	24.785					
合計										8.416	82.727	7.516	93.143		
										SCI	68.44	FCI	86.76		

附表 3 高察大橋 SCI 及 FCI 計算結果

橋梁名稱：高察大橋										SCI			FCI		
NO	構件名稱	D	E	R	U	劣化類型	ES <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>		
1	引道路堤	2	1	1	1		98.438								
2	引道路堤護欄	2	3	2	2		93.750								
3	引道路堤保護措施	2	1	1	1		98.438								
4	河道	1					100.000				100.000	1.968	32.669		
5	護床工	1					100.000				100.000	1.883	31.258		
6	橋台基礎		0												
7	橋台	3	1	3	3	混凝土結構裂縫	68.359	68.359	3.139	27.196					
8	翼牆/擋土牆	1					100.000								
9	橋梁排水設施	1					100.000								
10	橋護欄	3	1	3	3		68.359								
11	伸縮縫	2	3	2	2		93.750								
12	支承/支承墊/阻尼裝置	2	1	1	1		98.438								
13	防落設施	2	2	2	2		93.750								
14	橋墩/橋基保護設施	2	2	2	2		93.750				93.750	2.173	33.818		
15	橋墩基礎		0												
16	橋墩/帽梁	3	3	2	2	混凝土結構裂縫	85.938								
17	橋墩側向支撐	0													
18	主梁	3	1	3	3	混凝土剝落、破碎、鋼筋、鋼腱或錨碇	68.359	68.359	2.526	21.885					
19	橫隔梁	2	1	1	1		98.438								
20	托梁	0													
21	橋面板	2	2	2	2	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	93.750	93.750	2.225	26.438					
合計										7.890	75.520	6.024	97.745		
										<b>SCI</b>	<b>57.03</b>	<b>FCI</b>	<b>95.54</b>		

附表 4 崙天大橋 RI<sub>S</sub> 及 RI<sub>F</sub> 評估結果

RI <sub>S</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A1-1	橋台或橋墩基礎裸露	有	V
A1-2	主要構件結構裂縫或鋼筋外露	有	V
RI <sub>S</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A2-1	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	不詳	V
A2-2	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	不詳	V
A2-3	墩柱與基礎嚴重劣化	是	V
A2-4	第一類活動斷層近域	池上斷層	V
A2-5	地盤類別為臺北盆地、第三類地盤或不詳	第二類地盤	
A2-6	土壤液化潛勢為高	無	
A2-7	碳鋼金屬腐蝕速率為 C5 或 CX	無資料	
	離海岸 300 公尺以內	12629 公尺	
RI <sub>S</sub> 評等			高

RI <sub>F</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B1-1	橋台或橋墩基礎裸露	有	V
RI <sub>F</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B2-1	基礎嚴重裸露	有	V
B2-2	河道變遷	無	
B2-3	鄰近有採砂	無	
B2-4	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	不詳	V
	基礎型式為直接基礎		
B2-5	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	不詳	V
	基礎深度未達 10 公尺		
B2-6	梁底高程不足	最低支承高程：197.1 計畫洪水位：198.9 計畫堤頂高程：200.4	V
B2-7	上下游 500 公尺內是否有攔河堰	有	V
B2-8	上下游 500 公尺內是否有橋梁	無	
B2-9	具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在因素	無	
RI <sub>F</sub> 評等			高

附表 5 高寮大橋 RI<sub>S</sub> 及 RI<sub>F</sub> 評估結果

RI <sub>S</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A1-1	橋台或橋墩基礎裸露	無	
A1-2	主要構件結構裂縫或鋼筋外露	有	V
RI <sub>S</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A2-1	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	(未達 A1-1, 不須判斷)	
A2-2	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	(未達 A1-1, 不須判斷)	
A2-3	墩柱與基礎嚴重劣化	是	V
A2-4	第一類活動斷層近域	池上斷層	V
A2-5	地盤類別為臺北盆地、第三類地盤或不詳	第二類地盤	
A2-6	土壤液化潛勢為高	無	
A2-7	碳鋼金屬腐蝕速率為 C5 或 CX	無資料	
	離海岸 300 公尺以內	12861 公尺	
RI <sub>S</sub> 評等			中

RI <sub>F</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B1-1	橋台或橋墩基礎裸露	無	
RI <sub>F</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B2-1	基礎嚴重裸露	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-2	河道變遷	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-3	鄰近有採砂	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-4	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	(未達 B1-1, 不須判斷)	
	基礎型式為直接基礎	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-5	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	(未達 B1-1, 不須判斷)	
	基礎深度未達 10 公尺	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-6	梁底高程不足	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-7	上下游 500 公尺內是否有攔河堰	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-8	上下游 500 公尺內是否有橋梁	(未達 B1-1, 不須判斷)	
B2-9	具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在因素	(未達 B1-1, 不須判斷)	
RI <sub>F</sub> 評等			低



## 附錄五 專家座談會會議紀錄



## 專家座談會會議紀錄

會議日期：112/10/26

會議地點：交通部運輸研究所 10 樓會議室

主持人：姚乃嘉教授

與會專家：

NO	服務單位	職稱	姓名
1	中華顧問工程司	主任	王瑞麟
2	黎明工程顧問股份有限公司	協理	李坤哲
3	交通部公路局北區公路新建工程分局	工程司	李家順
4	華光工程顧問股份有限公司	工程師	張凱庭
5	臺灣營建研究院工程技術暨管理研究所	所長	張嘉峰
6	中興工程顧問股份有限公司	主任	葉啟章
7	交通部高速公路局頭城工務段	段長	鄭承鴻

\*按專家學者姓氏筆劃由少至多排序

### 專家意見(按發言順序)：

#### 一、鄭承鴻段長

- (1) SCI 計算用構件並納入支承，支承為力傳遞途徑，請問未納入支承的考量為何？若將支承納入計算，E 值也會有效應產出，劣化的影響也會顯現出來，建議將支承納入計算用構件。

#### 二、王瑞麟主任

- (1) 107 年修訂公路橋梁檢測規範時將 CI、PI 移除，原因為 CI、PI 與實際的橋況有出入，此次結構安全評等的 SCI 值，雖然只取 7 個構件去評估，仍建議整橋的評估可以在單一構件壞掉時就顯現出來。過去將 21 個構件都列入評估，則單一構件壞掉對整橋分數的影響就不大。而此次採用最小值的觀念建議可以更廣泛的運用，例如上部結構、下部結構、橋面板等，分部位各自計算所屬構件支  $CS_{ij}$ ，再取  $\min(CS_{ij})$  為代表，在整橋風險上就會更接近實際橋梁的風險。
- (2) 可列出研究之限制，因為整橋的風險評估無法完全涵蓋所有狀況，未來若有少部分評估不準確的橋況較不會被質疑。
- (3) 建議未來應建立維修後再進行一次檢測之觀念，於維修後更新橋梁管理系統中構件 DERU 之數值，會更貼近橋梁實際狀況。
- (4) 未來運研所若有後續計畫，建議案例橋梁可由不同橋檢廠商進行檢測，因本案是採同一組檢測人員，與實務上有差異。
- (5) 建議可針對過去有發生災害的橋進行整橋風險評等計算，並探討計算結果與實際災害是否相符。

#### 三、葉啟章主任

- (1) 請問公式中指數 a 值如何決定？
- (2) 整橋風險評估結果分為 I~IV 級，其中第 I 級橋梁有提及「適度放寬檢測頻率」，請問是由橋管機關或是上級主管機關評估是否放寬？
- (3) 由橋梁檢測員直接進行 I~IV 級之評等，因檢測員評等較為主觀，所以再透過公式去驗證，公式計算結果若與檢測員的評等相符，亦會增加檢測員的評等之可信度。
- (4) 建議未來檢測員在檢測時可針對上部結構、下部結構、橋梁整體等進行評等，一樣是分 4 個等級去評。因為每位檢測員的經驗不同，可能導致結果略有不同，所以建議可以分段檢測，與整體檢測結果再進行一次比較，會讓檢測結果更貼近實際橋梁狀況。

#### 四、張嘉峰所長：

- (1) 本研究是針對混凝土橋梁，初期聚焦的研究是正確方式，未來可再延伸至特殊橋梁。
- (2) 請問簡報內容第 11 頁的結構安全橋況與風險矩陣是如何區分 I~IV 個等級的？
- (3) 請問簡報內容第 33 頁的檢測前、後的劣化分類是如何得出的？
- (4) 未來運研所若有後續計畫，建議可增加案例橋梁樣本數。

#### 五、李家順工程司：

- (1) 本案以真實的檢測結果計算，也有將沖刷、環境因素納入考量，為本案進步的地方，結果我認為已經很接近實際狀況。
- (2) 簡報第 12 頁，若未來對象為特殊性橋梁時，公式中的 a、b 指數值要如何選用？
- (3) 近十年國內橋梁持續在進行改建，支承、交通量、環境、橋面板等劣化狀況也有別於以往。以目前橋檢經驗來看，很少災害狀況是發生在橋面板或支承，反而是伸縮縫的劣化會較快的導致車輛出現狀況，因此本案考量環境因素是一個很大的進步。

#### 六、李坤哲協理：

- (1) 自 107 年規範開始實施後使用，大部分的橋檢機關已無使用新 CI、新 PI 值，本案對整橋狀況評估進行探討值得肯定，有助於橋檢單位掌握整座橋梁的使用性、安全性或後續維修的排程。
- (2) 簡報第 33 頁，建議橋梁檢測人員慣用的檢測評等與本案整橋風險評等能有共通語言。本案共有 4 座橋梁的整橋風險達到 IV，然而在橋梁表中，檢測人員的檢測意見內並未填寫嚴重需立即維修。
- (3) 在進行橋梁安全評估時，主要分為承載力、耐震能力及耐洪能力三個面向，想了解本案的結構安全評等除了考量耐震，是否有考量其他面向(例如承載力、耐洪能力)？
- (4) 本案 SCI 計算用的 7 個構件，其中「橋墩側向支撐」不在 21 項的基本構件內。
- (5)  $RI_F$  評估項目中「梁底高程不足」與沖刷較無關聯性，在填寫梁底高程不足時，除了需要進行梁底高程的量測外，也要取得計畫洪水位及河川治理報告，若跨越的是區域排水，通常也不會有計畫洪水位，因此「梁底高程不足」之判定有其困難度。
- (6) 在耐震評估上「防落橋長度」很重要，本案並未考量到防落橋長度，且在單跨橋梁是不進行側推分析，主要針對防落橋長度、支承進行耐震評估，建議在 SCI 計算用構件可以加入防落設施。
- (7) 本案使用 a、b 指數值將分數差距顯現出來，相對新 CI、新 PI 值較不會被稀釋，但在橋梁現地檢測案例中，仍有部分數值被稀釋的情況。
- (8) 檢測報告中之鹽害橋梁需再斟酌填寫，狀況應為未達鹽害；有些橋梁有沖刷現象，建議修改檢測報告中所填之「無法判定」。

#### 七、張凱庭工程師：

- (1) 請說明  $RI_S$  評等的「A1-2 項、主要構件結構裂縫或鋼筋外露」判斷之方式。
- (2)  $RI_S$  評等的 A1-1 及  $RI_F$  評等的 B1-1 項「橋台或橋墩基礎裸露」在橋梁檢測時，部分橋梁基礎於汛期前、汛期後均被河水覆蓋，目視檢測無法判斷，因此啟動機制會遇到困難，橋梁管理系統上應如何填列？
- (3) 實際執行維修的廠商狀況都不同，建議可由橋梁的過往檢測數據，如橋梁出現連續幾年檢測都有劣化情形，有可能是維修廠商沒有確實維修的情況導致，建議橋梁管理系統能夠提醒使用者要特別關注此座橋梁有連續幾年橋梁狀況都屬於差的情況。
- (4) 依據本案整橋風險的算法，目前橋梁管理系統中整橋風險評等屬於較嚴重的橋梁佔比為何？若得出多座橋梁風險都是屬於較高的情況，對橋梁維護管理單位來說將會是一個困擾，因仍需再進行一次維修排序。

會議照片：





## 附錄六 期中報告審查意見處理情形表



## 期中報告審查意見處理情形表

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
<b>(一)本所許前組長書耕</b>		
1. 報告書 P.87 說明，計算 SCI 指標時，僅使用影響結構安全之重要構件進行計算，經專家訪談共識，選出最重要者的 7 個構件，而 U=4 主要構件則直接列為等級 IV 的構件，但為何主要構件單漏了「橋墩側向支撐」一項？	已取消主要構件 U=4 直接列為等級 IV 之機制，詳期末報告(初稿)3.4.1 小節。	同意辦理。
2. SCI 計算公式均係檢驗構件檢測的 D、R 值。某構件 U=4 且尚未維修，其所有同類構件中，是否至少有一構件的 D、R 值一定均等於 4，使該構件的 $RI_i$ 值為 0？即便如此，考慮其權重，依表 3.12 的 I 值，計算七個重要結構構件的權重分別為：橋台基礎（16.9）、橋台（15.2）、橋墩基礎（17.7）、橋墩/帽梁（15.6）、橋墩側向支撐（11.6）、主梁（12.2）、橋面板（10.8），亦即單一構件最多只占 SCI 得分的 17.7%（如刪除兩基礎項，5 項中最高占 23.9%），該項如 0 分，仍尚有 83（76）分的得分機會，逕予認定其結構安全評等為 IV，是否過於粗略？	已取消主要構件 U=4 直接列為等級 IV 之機制，詳期末報告(初稿)3.4.1 小節。	同意辦理。
3. 影響結構安全重要 7 個構件中，只有一個構件檢測有 U=4 且尚未維修，則依 SCI 計算公式及風險評估，其結構安全評等一定會等於 IV？亦即 SCI 值一定會低於	已調整 SCI 及 FCI 計算方式，增加指數項，同時在風險矩陣中將 SCI 及 FCI 分為良好、輕微、中等及嚴重共 4 等，當構件出現 D 且 R 均為 4 時，SCI	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
<p>定為等級IV的作法，如果不是，能否在 <math>CS_{ij}</math> 公式（式 3-2）中增加 <math>(D \times R/4 \times 4)</math> 項的指數項，以加強調較差構件的影響效果，結果可依公式使 SCI 值達嚴重等級。</p>	<p>及 FCI 之分數會落在「嚴重」之等級，詳期末報告(初稿)3.4 節。</p>	
<p>4. 結構安全方面計算 SCI 的 7 個構件及耐洪安全方面計算 FCI 的 5 個構件中，此兩者中橋台基礎及橋墩基礎有重疊，對整橋風險的評估有無影響？</p>	<p>SCI 與 FCI 是分別針對結構安全及耐洪安全獨立計算的兩個指標，雖橋同樣納入台基礎及橋墩基礎計算，但不影響最終整橋風險的評估結果。</p>	<p>敬悉。</p>
<p>5. 整橋評估在結構與耐洪方面均只納入 5 種構件，且彼此獨立，亦即係在既有 21 種構件中只討論 10 種。建議僅針對 SCI 及 FCI 計算時探討會用到的權重 <math>w_i</math> 或者重要性 <math>I_i</math>，因為探討的項目變少，使專家一次要評定權重的構件只有 5 種。如此，權重 <math>w_i</math> 這種由專家主觀認定而產生的數值似有機會獲得更收斂、共識之結果。</p>	<p>由於並非所有橋均有 SCI 納入之 7 種構件（或 FCI 之 5 種構件），若要針對所有可能之組合由專家主觀認定其權重執行上較為困難，另考量日後構件種類可能之增減，採本研究所提之方式調查重要指數 <math>I_i</math> 應屬較為可行之方式。</p>	<p>敬悉。</p>
<p>6. 報告書 P.99 RIs 評估應列入橋梁荷重方面的項目，例如：載重貨車交通量及超載頻率等，雖這些資料目前並不包含在橋梁管理系統的資料庫中，惟南方澳大橋發生斷橋的外因是頻繁的重車交通所造成。爰此，建議車行橋梁管理系統應增加服務載重貨車交通量的欄位（可先以質的定義來輸入，例如，每月載重貨車交通量：高中低）</p>	<p>已於期末報告建議事項中，建議橋梁管理系統增加相關欄位，詳期末報告(初稿)5.2 節。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>7. 本計畫所提整橋評估 I~IV 四級法，在構件評為 <math>U=4</math> 與 <math>U&lt;4</math> 時的有截然不同的處理，應再深入討論這種不整合內涵及其可能的解決辦</p>	<p>已調整 SCI 及 FCI 計算方式，增加指數項，同時在風險矩陣中將 SCI 及 FCI 分為良好、輕微、中等及嚴重共 4 等，當構</p>	<p>同意辦理。</p>

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
<p>法。目前模式存在疑義如：</p> <p>(1) 整橋評估：U&lt;4 者不只與構件本身劣化情形有關，亦與造成劣化的風險因素有關；U=4 者則只與劣化有關。</p> <p>(2) 構件權重設定：U&lt;4 者整橋評估時構件權重不同，代表對安全的重要性不同；U=4 者不論那一構件，整橋均直接評估為IV級，意即各構件權重設為相同，或者，沒有誰比較重要的問題。</p>	<p>件出現 D 且 R 均為 4 時，SCI 及 FCI 之分數會落在「嚴重」之等級，詳期末報告(初稿)3.4 節。</p>	
<p>8. 整橋評估結果應有分層概念，第一層為整橋評成I~IV四級(含結構與耐洪兩方面的整橋評估結果)，其第二層則為 SCI 與 FCI 中各構件的 CS<sub>i</sub>，此分層除供管理者除瞭解整橋狀態外，更能進一步瞭解造成這種狀態的背後原因。</p>	<p>日後若有擴大試辦，可如表 4.13 方式列出各橋之「整橋風險評等」、「結構安全評等」、「耐洪安全評等」、SCI、FCI、R<sub>I<sub>S</sub></sub> 及 R<sub>I<sub>F</sub></sub>。</p>	<p>敬悉。</p>
<p>9. 本計畫建議結構安全方面計算 SCI 的 7 個構件為橋台基礎、橋台、橋墩基礎、橋墩/帽梁、橋墩側向支撐、主梁、橋面板；耐洪安全方面計算 FCI 的 5 個構件為河道、護床工、橋台基礎、橋墩/橋基保護設施、橋墩基礎。建議當是過水橋時，橋台基礎與橋墩基礎兩重疊項要刪除才合理；但當是陸地橋時，橋台基礎與橋墩基礎根本是埋在土裡，無法目視，更別談檢測，反而是過水橋的橋台基礎與橋墩基礎，除目視被沖刷淘空外，亦可派潛水員下水檢測。簡單說，陸地橋不作耐洪評估，仍應刪除該兩項，才符實際。</p>	<p>依檢測規範，基礎無法檢視時會填 E=0，此時基礎不會列入 SCI 或 FCI 計算，部分橋管機關針對長年水位較高之橋梁，會進行河床斷面測量，若有發現基礎裸露，會反應在定檢紀錄中。</p> <p>一般而言非跨水橋應無基礎裸露問題，故不會列入計算，但實務上確有非跨水橋發生基礎裸露(例如橋墩位於邊坡處)。</p>	<p>敬悉。</p>

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
10. 重要構件中，任一重要構件 $U=4$ 則逕認定為IV級的不整合問題，對此，本人建議要修改公式，如果 $U=4$ 則逕認定為IV級是必要的，公式就要能含納此一特性，而不是直接跳躍式的，完全不視 SCI 及 FCI 加上風險評估的程序。以結構安全方面的公式及評估方式，本人已提出一份書面模式建議(包括 SCI 計算公式及參數的推估)予運工組參考，請研究團隊後續再進一步審慎研析。	已調整 SCI 及 FCI 計算方式，增加指數項，同時在風險矩陣中將 SCI 及 FCI 分為良好、輕微、中等及嚴重共 4 等，當構件出現 D 且 R 均為 4 時，SCI 及 FCI 之分數會落在「嚴重」之等級，詳期末報告(初稿)3.4 節。	同意辦理。
<b>(二)萬鼎工程公司賴順政資深技術經理</b>		
1. 建議定稿報告增列風險評估架構圖或流程圖。	已增加評估流程圖，詳期末報告(初稿)圖 3.1。	同意辦理。
2. 針對如橋梁管理機關重點監控之橋梁，於評估過程中有何機制能挑選出來，例如過去有一單跨曲線橋人行橋無預警落橋，這類狀況從 DERU 值是看不出來的。	本研究之評估模式僅利用定期檢測紀錄及橋梁管理系統中之基本資料，實難兼顧各種特殊狀況，若定期檢測後有疑慮，應依規範進行詳細檢測或結構安全評估。	敬悉。
3. 針對長橋取 $CS_i$ 最小值是否具有代表性？若同一類構件在多跨、多處均有劣化，與僅單一處劣化其風險是否相同？	計算 SCI 或 FCI 時僅針對主要構件進行計算，單一主要構件若損毀(例如僅一隻墩柱破壞)，橋梁便無法正常提供服務。	敬悉。
4. 報告書表 3.18 及表 3.31，SCI 及 FCI 級距以 85 及 65 分為界，是否有相關依據？	團隊透過不同狀態試算後訂定，目前已將 SCI 及 FCI 分為良好、輕微、中等及嚴重共 4 等，分界為 98、85 及 60 分。	同意辦理。
5. 報告書表 3.9，「橋墩側向支撐」名稱建議修正，另外，此「橋墩側向支撐」是否可併入「橋墩/帽梁」？	表中所列之構件及其名稱均為車行橋梁管理資訊系統中現存構件，包含橋墩側向支撐。另外，專家座談會後已調	敬悉。

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
	整 SCI 計算方式，將橋台基礎、橋台、橋墩基礎、橋墩及橋墩側向支撐均歸屬於「下部結構」，詳期末報告(初稿)表 3.16。	
6. 報告書 P.86， $CS_{ij}$ 計算公式使用 $D \times R$ ，不同 $D$ 、 $R$ 組合相乘後約僅 10 組數值，這些數值作為風險等級區分是否具代表性及合理性？	橋梁檢測及補強規範解說 C3.3 節提到，規範中所列的各構件劣化評等值僅供參考，各公路養護管理機關得於其養護手冊或橋梁檢測手冊中調整。各橋梁養護機關基於其維護管理策略，對於構件劣化維修的時效性(U 值)常有不同考量，而各機關對於構件劣化的紀錄方式亦不同(將影響 E 值)，因此本研究在計算構件狀況指標時，僅將 $D$ 、 $R$ 值納入計算，其組合相乘之數值雖較 $D$ 、 $E$ 、 $R$ 均納入計算少，但一座橋梁是否有嚴重之劣化，初步可依最大之 $D$ 、 $R$ 值組合進行判斷，過去交通部運研所在橋梁評鑑辦法中，亦曾將「 $D$ 及 $R$ 均大於等於 3」視為應維修橋梁之判斷條件。	敬悉。
7. 報告書表 3.8，風險矩陣中 I~IV 如何訂定？是否有量化標準？或憑感覺決定？	依團隊成員經驗並參考專家及委員建議後訂定，本評估模式性質屬初步篩選，並未訂定量化標準。	敬悉。
8. 結構安全評等是否包含河川橋？若河川橋僅有耐洪安全評等，則 $RI_s$ 與 $RI_F$ 之啟動條件應相同。	跨水橋與非跨水橋均會進行結構安全評等。	敬悉。
9. 報告書表 3.33，「B2-8 上游 500 公尺內是否有橋梁」是否含上、下游側，請再確認。	已配合調整，將上下游 500 公尺範圍均納入，詳期末報告(初稿)表 3.45。	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
<b>(三)國立臺北科技大學陳水龍教授</b>		
1. 依照合約要求本研究以混凝土梁式橋及板橋為主，但文獻中如 P.15、P.23、P.30、P.31、P.32 有鋼橋相關內容，建議僅放混凝土橋相關內容即可。	第 15 頁的銀橋事件係為美國橋梁檢測制度之濫觴，為美國橋檢必提之歷史事件；第 23 頁的鋼材劣化等級標準(摘自美國全國公路與運輸官員協會出版之橋梁元件檢測手冊)與其後的鋼構橋案例(摘錄自美國聯邦公路總署頒布之全國橋梁清冊規範)，均為梁檢測評分範例說明，以了解如何自橋梁元件評分轉化為橋梁構件評分，另者，此兩本手冊/規範僅提供鋼構橋上部結構評分之範例說明，並無提供鋼筋/預力混凝土橋上部結構評分之範例說明。	敬悉。
2. 吊索橋若非本計畫研究範圍，建議需列為後續計畫。	已列為本研究之後續建議，詳期末報告(初稿)5.2 節。	同意辦理。
3. 建議期末報告之文獻回顧加入歐盟相關文獻。	已增加芬蘭及德國之文獻，詳期末報告(初稿)2.5 節及 2.6 節。	同意辦理。
4. 水面下橋墩基礎是否有沖刷僅靠目視檢測難以判斷，美國是如何檢測？國內又是如何評分？	美國聯邦法規定義橋梁檢測類別，包括：初始檢測、定期檢測、深入檢測、破裂關鍵構件檢測、水下檢測、特別檢測、觸摸檢測，以及損傷檢測等 8 種，其中定期檢測項目有水道狀況、沖刷狀況之目視檢測評分；水下檢測則為獨立檢測類別，檢測週期原則上為 60 個月檢測一次，水下檢測另有一套檢測規則與模式，有別於常規的目視檢測方式，其定義	敬悉。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
	<p>為：「對於檢測橋梁下部結構的水下部分構件與周圍河道，在低水位時無法以涉水或探測方式進行目視檢測，通常需改採潛水作業或其他適當的技術進行之檢測。」</p> <p>國內多數河川旱季水位較低，於非汛期時可直接目視或插箱尺去判斷基礎是否裸露及其裸露深度，深槽行水區通常輔以河道斷面測量並套繪竣工圖，以了解基礎型式及沖刷程度；無竣工圖橋梁則輔以地電阻或超震法來了解其基礎深度，但已屬詳細檢測範疇。</p>	
5. $w_i$ 權重算到小數點後第 3 位未來如何執行？建議能簡化成幾個等級，例如 1~4。	此評估模式經驗證後，將整合進橋梁管理系統，由系統自動計算。	敬悉。
6. 針對 SCI 及 FCI 分數，即使剛完工橋梁也不可能有 100 分，而一般認知 60 分就算及格，建議分數可再調整。	已將 SCI 及 FCI 分為良好、輕微、中等及嚴重共 4 等，分界為 98、85 及 60 分。	同意辦理。
7. 重車使用率對橋梁安全很重要，是重要的影響因子。	已於期末報告建議事項中，建議橋梁管理系統增加相關欄位，詳期末報告(初稿)5.2 節。	同意辦理。
8. 本報告以最嚴重、劣化的部分作為整體指標的基礎，此一方向是正確的，可在符合此精神下制定指標。	謝謝委員的意見。	敬悉。
<b>(四)公路局何鴻文前組長</b>		
1. 報告書表 3.3 專家訪談意見項次 12.建議將上、下游固床工或其他河道保護工納入耐洪風險評等項目，處理方式說明僅納入上游 500	已配合調整，將上下游 500 公尺範圍均納入，另增加「具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在因素」評估項，詳期末報	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
公尺是否有攔河堰及橋梁，惟表 3.12 項次 4、5 之河道、護床工應包含上下游部分，且下游固床工或保護工若有破損將有引致束縮沖刷、向源侵蝕等影響橋梁耐洪能力風險，建議將下游部分亦納入考量。	告(初稿)表 3.45。	
2. 報告書 3.3.3 節 (四) $w_i$ 調整僅說明「調整方式及使用之公式同 SCI，後略」似過簡略，建議仍簡述其調整方式及其參用表格（例如：表 3.12 等）。	已調整報告內容，增加相關說明，詳期末報告(初稿)3.4.5 節。	同意辦理。
3. 第四章案例評估結果，代號 10 橋梁 2G3 主梁及 S02 橋面板嚴重損害修復前後整體風險評等為何均為 II？代號 7、8、9 橋梁之差異原因除專家座談會探討外，建議亦與該橋梁管理單位及檢測人員確認其差異原因為何。	團隊並未針對維修前後進行風險評等，僅在尋找案例評估橋梁時，從橋管系統中之定檢紀錄中尋找不同劣化程度者。經期中審查及專家座談會後，已調整評估模式，目前代號 07、08 及 09 橋梁之團隊檢測員評等已與公式計算評等相同，詳期末報告(初稿)表 4.34。	敬悉。
4. 報告書表 3.19「項次 G112 防落長度」配分為 20、「項次 G113 防落設施」配分為 12，屬落橋評估項目之前 3 名，然因橋梁管理系統資料難以計算或無法判斷而不採用，高公局及公路局亦有紀錄防落長度資料。縣市政府因受限竣工圖不齊全無此資料，建議橋管理系統可研議逐步納入橋梁基本資料必須填寫內容，以利未來相關模式參採運用。	目前橋梁管理系統中，橋台、橋墩均有防落橋長度欄位，但未有「規範防落橋長度」及足可計算防落橋長度之相關資訊，故目前未能納入評估項目。	敬悉。
5. 報告書表 3.19「項次 G113 防落設施」不採用說明...無法判「對」是否為車行向，...；5.1 節結論...於	已修正錯字，詳期末報告(初稿)表 3.27。	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
專家座談會中近一「部」探討...等錯別字請更正。		
<b>(五)交通部技監室江明益技正</b>		
1. 本研究富含理論及驗證，充分顯示研究團隊對於建立橋梁整橋評估模式之建立的努力，藉由國外文獻，以及國內過去採用的狀況，重新整理出一套新的理論模式，並透過案例驗證，證明模式的合理及可行性。	謝謝委員的意見。	敬悉。
2. 在進行橋梁耐震初評時，首先考量落橋風險，確保大震不倒基本原則，再來考量墩柱的容受力，即韌性程度，此觀念類似可失血的容量。因此，耐震初評兩份檢查表，落橋風險針對上部結構，強度韌性則針對下部結構，此也反應橋梁受地震橫向力攻擊時，動態的兩塊控制單元。	謝謝委員的意見。	敬悉。
3. 相較地震力方向單純且由下向上傳遞，本次研究團隊仿照耐震初評觀念，以「結構安全評等」及「耐洪安全評等」2單元進行區分，研究方向上原則認同，惟考量橋梁整體風險來自四面八方，似乎更顯複雜，例如：橋上的交通行為，服務水準或車種比例，對橋梁劣化影響應很顯著，因此，建議仍以目前2單元評等表進行後續探討，但保留相對彈性，或許未來還有更多單元尚待研究。	謝謝委員的意見。	敬悉。
4. 第四章進行案例評估，有關檢測員及公式計算兩者之評等結果，期中檢測員係指系統內的檢測紀	「檢測員評等」為團隊現地檢測後所作出之評估。	敬悉。

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
錄，抑或為研究團隊現地檢測紀錄，建請釐清。		
5. 報告書 P.110 為何研究團隊還要針對 10 座樣本橋梁再去執行一次現地檢測？而不是針對系統現有檢測紀錄去驗證此評估模式合理性？目的為何請再說明。	10 座案例評估橋梁分屬不同管理機關，其檢測廠商及檢測年度均不同，為求一致性，故團隊實地進行檢測。實地檢測後，對橋況依經驗進行評等，可與依公式計算出之評估結果比較。	敬悉。
6. 報告書 P.117「本節嘗試以專業檢測人員依據現地目視檢測評定紀錄，…」，本段敘述是否合宜？畢竟目前檢測作業無論委託或自辦，檢測員都要受過訓練，具有一定程度的專業性。	已將「專業檢測人員」調整為「團隊之檢測人員」，詳期末報告(初稿)4.1.3 小節。	同意辦理。
7. 報告書 P.111 橋梁 05 號劣化差異，研究團隊 DRU=333，惟查規範 C3.3.5，顯著裂縫，但無滲水或鋼筋鏽蝕現象，DRU 應為 323。	已修正橋梁 05，橋台混凝土裂縫之 DRU 值為 323，詳期末報告(初稿)附錄五第 37 頁。	同意辦理。
8. 報告書 P.41 有關日本對策區分判定流程，最後歸屬 B 類橋梁，到底是否需要進行修補？建議翻譯上宜更精確，否則不易理解。	對策判定類別 B，是指損傷有需要進行修復，損傷原因及範圍明確，但無立即修復的急迫性，沒有在下次定期點檢之前(5 年內)修復，橋梁結構安全性也不會受到重大的損害及影響。另已調整日本對策區分判定流程圖中之翻譯文字，詳期末報告(初稿)圖 2.19。	同意辦理。
9. 報告書 P.90 在進行構件重要程度調查時，查專業訪談所提供之表中，不存在、沒有影響，兩者如何釐清，檢視各專家列紀錄中，似乎很容易混淆。	確實「不存在」、「沒有影響」易造成混淆，因此在後續數據處理上兩者均視為 0。	敬悉。
10. 報告書 P.86-87 針對 $CS_{ij}$ 分別列出計算式，以及取用方式採最小	$CS_i$ 是取 $CS_{ij}$ 之最小值。	敬悉。

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
值，實際上要如何抉擇，請說明。		
11. 報告書 P.88 查以廢止的「公路鋼筋混凝土結構橋梁之檢測及補強規範」及現行的「鐵路橋梁之檢測及補強規範」，均有針對「影響橋梁結構安全之構件項目」予以定義，例如橫隔梁、防落設施等均包含在內，惟 P.88 選擇之 SCI 計算用構件未涵蓋，建請說明。	為降低指標計算納入太多構件時，少數重要構件嚴重劣化，大部分構件狀況良好時，指標分數偏高，而無法有效反應橋梁的安全問題，參考美國指標評定方式，選用 7 個主要構件進行 SCI 計算，其他構件如橫隔梁、防落設施等，雖有其影響性，但單一構件失效時應不致使橋梁有倒塌或立即之危險。	敬悉。
12. 簡報 P.44，有關整橋風險評估定位之敘述較模糊，目前檢測制度有定期檢測、特別檢測、詳細檢測、結構安全評估及維修補強等階段，此整橋評估結果可在哪一階段供橋管機關參用？	於定期檢測後之階段，供橋梁管理機關做為放寬或加密檢測頻率，以及是否要進行結構安全評估之參考。	敬悉。
13. 此評估模式若可行的話，未來可在系統中檢視整橋風險評等？	本研究之評估模式僅利用定期檢測紀錄及橋梁管理系統中之基本資料，未來可應用於橋梁管理系統，透過系統自動計算。	敬悉。
14. 團隊所列混凝土梁式橋之 21 項構件，與規範中 15 項構件不太一樣，如其他委員有提到之「橋墩側向支撐」。	「橋墩側向支撐」為車行橋梁管理資訊系統中現存構件，為配合橋梁管理機關實務上之需求而增加。	敬悉。
<b>(六)高速公路局中區養護工程分局黃俊豪副分局長</b>		
1. 橋梁主構件眾多，採用評等值最差者代表整橋評等結果，並將主構件 U=4 直接列為等級 IV 之作法，將可篩選出橋況較差或具立即危險之橋梁，該作法合乎邏輯且具可執行性。	謝謝委員的意見。	敬悉。

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
2. 報告書 P.86 SCI 嚴重但 RI <sub>s</sub> 低，列為等級 II (橋梁狀況尚可)，此矩陣分類結果請團隊斟酌。	已調整風險矩陣，將 SCI 及 FCI 分為良好、輕微、中等及嚴重共 4 等，當 SCI 及 FCI 為「嚴重」時，無論 RI <sub>s</sub> 或 RI <sub>s</sub> 為低、中或高，均為等級 IV，詳期末報告(初稿)3.4 節。	同意辦理。
3. SCI 計算用構件之挑選原則為何？	參考美國指標評定方式，選用 7 個主要構件進行 SCI 計算。	敬悉。
4. 報告書表 3.8 SCI 類別級距分為 3 類之原因？級距分數區間如何決定？	已將 SCI 及 FCI 分為良好、輕微、中等及嚴重共 4 等，分界為 98、85 及 60 分。	同意辦理。
5. 案例評估橋梁 DER&U 值之合理性及一致性是否足夠？建議後續利用長橋進行評估試算。	案例評估橋梁之 DER&U 值均為團隊現地檢測之成果，團隊中有運研所橋檢人員培訓講師、縣市政府外部稽核委員及專業顧問公司成員，檢測結果有相當之公信力與一致性。 長橋部分，有針對 918 池上地震嚴重受損之「崙天大橋」及「高寮大橋」，使用車行橋梁管理資訊系統中 2021 年之定檢紀錄進行計算，兩座橋之整橋風險評等均為 IV，詳附錄六。	敬悉。
6. 過去橋況評估指標不足之處為敏感性較低，過往長橋分數容易稀釋之問題，此整橋評估模式建議可比較過去 CI、PI、新 CI 及新 PI 之結果，以利驗證本評估模式更具鑑別度。	因規範經過 107 及 109 年共兩次修訂，目前橋梁構件與過去計算 CI、PI、新 CI 及新 PI 時不盡相同，無對應之權重可供計算。	敬悉。
<b>(七)公路局第一區養護工程處楊秉順主任工程司</b>		
1. 本報告採用 SCI 計算構件 7 項及 FCI 計算構件 5 項，僅以少數專家學者勾選之共同項為理由，恐不	本研究亦有參考美國指標評定方式選用主要構件。	敬悉。

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
甚足夠，建議所計算構件應更有依據與理論基礎驗證，或並與各國項目不相同之合理原因，以利報告完整性。		
2. 報告中評估 10 座橋梁案例，建議能比較各國之橋況評估成果，以驗證本評估模式成果與各國相同。	已針對 3 座案例評估橋梁，以美國之標準進行檢測與評估，詳期末報告(初稿)附錄七。	同意辦理。
3. 有關 SCI 與 FCI 類別區間以分數 85 分、65 分區間為分界，其主要依據與理論基礎為何，建議補充。如缺少構件項目將使權重變大，易低於 85 分，是否過於保守？	已將 SCI 及 FCI 分為良好、輕微、中等及嚴重共 4 等，依不同構件及劣化狀況試算之結果，將分界訂在 98、85 及 60 分。 另調整 SCI 及 FCI 計算公式，將 SCI 之 7 項構件分屬「橋面板」、「上部結構」及「下部結構」三大部位，將 FCI 之 5 項構件分屬「河道」、「護床工」及「基礎及保護設施」三大部位。各部位取所屬構件中 $ES_i$ 之最小者為代表，降低缺少構件造成之影響。詳期末報告(初稿)3.4 節。	同意辦理。
4. 報告書 P.99，如屬 U=4 須立即處置，如何於本評估內反映?其他項目的狀況恐稀釋該項分數，如何克服。	機關仍須依規範，按不同 U 值處置之時程進行，本研究之整橋風險評估分類，並未針對時程提出建議，詳期末報告(初稿)3.3 節。	同意辦理。
5. 報告書 P.118，10 座橋梁案例中僅輕微劣化之橋梁，於結構安全評等仍會是 II 以上，是否過於保守？	依本研究之設定，大部分橋梁應屬等級 II，等級 I 之橋梁係建議可放寬檢測頻率，數量應較 II 為少。	敬悉。
6. SCI 計算用構件 7 項及 FCI 計算用構件 5 項，如該計算構件為無此項目 (D=0 或 E=0) 皆不納入權	以單跨板橋為例，橋面板及橋台之狀況良莠，足可左右整體橋況。	敬悉。

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
重計算，會導致剩餘項目權重過大控制，請補充合理性（例如：編號 10 FCI 僅河道 1 項控制，另陸橋部分涉及基礎兩項皆為 E=0）。		
7. 報告書 P.139 檢測員評等結果與公式計算評等結果之差異原因為何？針對公式有無需要辦理調整？	經期中審查及專家座談會後，已調整評估模式及公式，目前僅代號 03 橋梁整橋風險評等結果差 1 級，詳期末報告(初稿)表 4.34。	同意辦理。
8. RIs 評估項目中有港研中心之金屬腐蝕分類及「公路橋梁設計規範」之離海岸 300 公尺兩項，實務上應用，兩者意思相同。	已將此兩項合併為一項，詳期末報告(初稿)表 3.31。	同意辦理。
<b>(八)高速公路局</b>		
1. 報告書 P.11，U 值等於 2 時則表示 3 年內進行維修即可；建議增加「或持續追蹤」。	已配合修改，詳期末報告(初稿)1.1 節。	同意辦理。
2. 報告書 P.81，定期檢測頻率部分，第 5 行文字高公局建議增加重點監控橋梁。	已配合修改，詳期末報告(初稿)3.3 節。	同意辦理。
3. 3.3.2 結構安全評等，目前團隊因 E 值填寫上未能統一，而將 CS 計算移除 E 值，建議可再考量列入。CS 取用方法係採同一構件中最小值作為代表，如一座橋有 100 支主梁，其中 1 支主梁 D、R 值均為 3 所計算之分數，與同一座橋若為 50 支主梁 DR 值均為 3 所計算之分數相同，較難辨識大範圍之劣化情形。另劣化類型為滲水白華，依照規範如有銹水產生時 D 值為 3，計算方式在不考慮 U 值及 E 值之情況下，容易高估其影響性。	移除 E 值原因有二，一為目前定期檢測時，針對同一構件有多處劣化時，部分檢測單位會對同一類型劣化填一組 DER 值，亦有一處填一組 DER 值者，造成填寫上未能統一；二為 E 值對構件狀態之影響不若 D 及 R 值重要，以混凝土主梁而言，乾縮潛變裂縫即使 E=4，實務上多屬持續追蹤；又如白華無銹水時 D=2，E 可能為 3~4，但 U=1~2；但若出現撓曲裂縫，即使 E=1，U 即可能評到 4。	敬悉。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
4. 報告書 P.109, 4.1.1 案例評估橋梁選定方式, 說明 D、R、U 值皆小於等於 2, 視為輕微劣化; 少數結構性構件檢測結果具有 D 等於 3、R 介於 2~3、U 介於 2~3 之構件時, 視為中度劣化; 多數結構性構件檢測結果具有 D、R、U 值皆大於等於 3 之構件時, 視為嚴重劣化。上述所稱「少數」及「多數」分別為何?	已刪除案例評估橋梁「輕微劣化」、「中度劣化」及「嚴重劣化」之分類方式, 詳期末報告(初稿)4.1.1 節。	同意辦理。
5. 報告書 P.111 案例評估「橋梁 05」之 A1 橋台評等依照規範 R 值應為 2。而「橋梁 10」劣化已完成維修作業, 惟經研究團隊判定仍有 D=2 之劣化狀況, 請補充說明。	已修正橋梁 05, 橋台混凝土裂縫之 R 值為 2, 詳期末報告(初稿)附錄五第 37 頁。 橋梁 10 在團隊至現場檢測時發現有混凝土修補之跡象, 但修補處有發現劣化, 應為修補後產生。	同意辦理。
6. 報告書 4.1.3 節專業檢測人員是否與 4.1.2 節研究團隊赴現地確認評等之人員相同? 如為相同團隊, 4.3 小結所列之比較建議可納入原檢測報告之評等值計算結果。	「專業檢測人員」文字已調整為「團隊之檢測人員」。委員所謂「原檢測報告」應為「車行橋梁管理系統中最近一次檢測結果」或「前一次檢測成果」, 非團隊人員所執行。	同意辦理。
7. 簡報 P.35, 專業檢測人員主觀判斷, 是否仍有一依據或歸類? 此點會影響最後與公式計算結果之比較。	簡報中所提主觀判斷, 主要是強調檢測員進行整體橋況判定 I~IV 類時, 係依據檢測員現場所見劣化現象、參考規範建議所填列 DERU 值, 以及橋梁所處環境現況來進行綜合評定, 如同美國橋梁狀況評定方式, 並未使用任何公式及指標計算, 以供本案最後指標公式計算結果參考及比對。考量本團隊評定結果, 其他專家學者可能有不同的看法, 簡報中	敬悉。

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
	才有所強調，亦為本案特別安排專家綜合座談之目的，期廣納各方看法及意見，免除可能過於主觀的評定結果。	
8. 高公局願意提供橋梁供團隊進行試算。	本案時間、經費有限，已無法增加案例評估橋梁。	敬悉。
<b>(九)臺北市政府</b>		
1. 本評估模式希望能簡明、好操作且易懂。	本研究之評估模式僅利用定期檢測紀錄及橋梁管理系統中之基本資料，未來可應用於橋梁管理系統，透過系統自動計算。	敬悉。
2. 是否有整橋風險評等結果不佳，但實際上沒有這麼嚴重之狀況？評估應掌握關鍵因子，分數計算尚可，但因達關鍵因子，所以最後結果是嚴重。	本研究之評估模式僅利用定期檢測紀錄及橋梁管理系統中之基本資料，實難兼顧各種特殊狀況，若定期檢測後有疑慮，應依規範進行詳細檢測或結構安全評估。	敬悉。
3. 若團隊願意，可針對臺北市政府混凝土橋進行試算，再針對結果進行討論。	本案時間、經費有限，已無法增加案例評估橋梁。	敬悉。
<b>(十)公路局（書面意見）</b>		
1. 報告書 P.11，U 值等於 2 時則表示 3 年內進行維修即可；建議增加「或持續追蹤」。	已配合修改，詳期末報告(初稿)1.1 節。	同意辦理。
2. 報告書 P.81，本局針對跨河橋梁係採 2 次/年定期檢測，請團隊酌予修正內容。	據了解，公路局針對跨河橋汛後之檢測僅 6 項構件，應非全橋檢測之定期檢測範疇。	敬悉。
3. 配合組織改制，公路局將於 112/9/15 起更名為「公路局」，相關局屬機關亦有更名，建議修正版一併調整更名後機關名稱。	已配合修改，詳期末報告(初稿)3.3 節。	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
<b>(十一)港研中心 (書面意見)</b>		
1. 因現行檢測作業對 E 值之判定未予統一，爰本計畫改良過去 IC <sub>ij</sub> 計算方式，在不考慮 E 值條件下建立 CS <sub>ij</sub> 之計算，可過濾填寫不一之問題。但剔除 E 值方式是否為適合之選項？建議可在 E 值填法一致之情況下，探討該值對於整體性評估之重要性為何？	E 值對構件狀態之影響不若 D 及 R 值重要，以混凝土主梁而言，乾縮潛變裂縫即使 E=4，實務上多屬持續追蹤；又如白華無銹水時 D=2，E 可能為 3~4，但 U=1~2；但若出現撓曲裂縫，即使 E=1，U 即可能評到 4。	
2. U 值未納入整體性評估因子之考量？	以 DER&U 檢測法設計之精神，U 值為 D 及 R 值評等之結果，實務上，會再考量橋梁使用情況及經費而定。	同意辦理。
3. 報告書 P.84，本計畫提出「整橋風險評估」結果，是由「結構安全評等」及「耐洪安全評等」中取較差值來控制結果，惟列舉案例未將耐洪安全評等納入考量，再請說明。	10 座案例橋梁中確實未有「耐洪安全評等」較「結構安全評等」差之狀況，此非團隊篩選案例橋梁時能預見，經期中審查及專家座談會後，已調整評估模式，目前橋梁編號 09 之「耐洪安全評等」及「結構安全評等」均屬 IV 級。	同意辦理。
<b>(十二)苗栗縣政府 (書面意見)</b>		
1. 報告書 P.140，當整橋風險評估結果低於檢測員判定時，因判定結果僅有四個等級，要如何將兩者判定結果差異收斂，成果才具代表性。	經期中審查及專家座談會後，已調整評估模式，目前僅代號 03 橋梁整橋風險評等結果有差異，公式計算結果為 III，檢測員判定為 II，詳期末報告(初稿)表 4.34。	同意辦理。
<b>(十三)運工組 (書面意見)</b>		
1. 報告第二章重複出現 FHWA、AASHTO 及相關之英文縮寫標註，係不必要的撰寫方式，建議全文檢視修訂。	已刪除第二章內文中重複出現之 FHWA、AASHTO 縮寫，詳期末報告(初稿)2.1 節。	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
2. 第二章文獻回顧如表 2.1~表 2.3 等，雖為國外文獻資料，在報告中仍應中文化呈現，建議全面檢視修訂報告中相關內容。	已將第二章出現之表格及圖片盡可能中文化，詳期末報告(初稿)第二章。	同意辦理。
3. 「2.1.5 橋梁構件狀況評定」將橋梁構件狀況嚴重程度劃分為：(a) 次要 (Minor) 缺陷、(b) 中等 (Moderate) 缺陷及 (c) 主要 (Major) 缺陷，由於係描述嚴重程度，建議可斟酌修訂中文翻譯，改為「輕微、中等及重大」3 種等級。	已配合修改，詳期末報告(初稿)2.1.5 節。	同意辦理。
4. 「2.5.2 臺灣橋況評估指標」回顧，建議補充說明 CI 與 PI 之定義與差異。	已補充說明，詳期末報告(初稿)2.7.2 節。	同意辦理。
5. 文獻回顧內容，似乎沒有橋梁各構件「指標權重」擬定方式的相關內容以供本計畫參考，建議補充。	南非及中國之文獻中均未提及所使用之權重如何訂定，然南非之權重與我國早期引進 DER&U 時之權重十分相似，當時我國所用之權重，是由高公局邀集專家開會決定，推測南非之權重應採類似方式決定。	敬悉。
6. 「3.3.2 結構安全評等」，其中「當 SCI 為嚴重時，代表橋梁構件已相當差，甚至局部出現 D=4 且 R=3 之嚴重劣化，...，若 R <sub>I</sub> s 為低，代表橋梁較無因外力造成損毀之可能性，結構安全評等降為 II」，這樣的評等判定是否符合風險，建議再審慎衡酌。	已調整風險矩陣，將 SCI 及 FCI 分為良好、輕微、中等及嚴重共 4 等，當 SCI 及 FCI 為「嚴重」時，無論 R <sub>I</sub> s 或 R <sub>I</sub> F 為低、中或高，均為等級 IV，詳期末報告(初稿)3.4 節。	同意辦理。
7. 「指標權重」為本計畫模式重要因子，本計畫僅採 10 位專家的調查結果平均數作為權重計算依據，建議評估其代表性是否足夠。	本研究所訪談之專家包含縣市政府、高公局、公路局橋梁管理之承辦人員，及長期執行橋梁設計、檢測與評估之顧問	敬悉。

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
另本研究採用廖先格所提出之方式計算橋梁各構件之權重 ( $w_i$ )，建議應再補充採用的充分原因。	公司，具相當之代表性。本研究採用廖先格所提出之重要指數 $I_i$ ，因該法係特別針對構件化後之橋梁管理系統所設計，可因應不同橋梁不同構件，後續若有新增加之構件類型，可單獨調查該構件之重要指數 $I_i$ 。	
8. 建議表 3.9 及表 3.26，專家學者名稱改為 A、B....等代號表示即可。	已刪除相關表格，詳期末報告(初稿)3.4 節。	同意辦理。
<b>(十四)主席結論</b>		
1. 有關是否增加風險評估架構圖及補充歐盟等國家橋況文獻、載重貨車交通量是否列入評估考量因子、防落長度及防落設施是否列入橋梁管理系統，以及利用系統現有檢測紀錄驗證整橋評估模式等委員們提出之重要議題，請運工組與團隊於後續工作會議中研議。	依主席指示辦理。	同意辦理。
2. 審查會議各委員及與會單位研提之口頭及書面意見，請社團法人中華民國營建管理協會研究團隊整理「審查意見處理情形表」，且逐項說明回應辦理情形，並充分納入報告之修正。	已製作「審查意見處理情形表」並逐條回覆。	同意辦理。
3. 本計畫經徵詢審查委員意見，期中報告初稿審查通過，請社團法人中華民國營建管理協會研究團隊後續依本所出版品印製相關規定撰寫報告，並納入每月工作會議查核事項進行追蹤。	依主席指示辦理。	同意辦理。



## 附錄七 期末報告審查意見處理情形表



## 期末報告審查意見處理情形表

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
<b>(一)萬鼎工程公司賴順政資深技術經理</b>		
1. 建議 1.3 節有關本研究範圍與限制之條列內容，再補述於第五章結論與建議章節內，以利於報告閱讀的理解。	謝謝委員建議，已將研究範圍與限制補述於結論，詳報告定稿 6.1 節。	同意辦理。
2. 本研究或能提供檢測員對於橋梁整體狀況評估之參照，惟如 1.3 節所述「特殊狀況橋梁不一定準確評估」，後續或可考量將其納入檢測員整橋風險評等之選項，使評估結果更加完整。	謝謝委員建議，已增列「建議後續各機關執行定期檢測時可考慮增加檢測人員風險評等」，詳報告定稿 6.2 節。	同意辦理。
3. 整體風險評估結果分級之等級 IV，有關「建議進行結構安全評估」說明，建議調整為「建議依橋況進行緊急處置或結構安全評估」。	謝謝委員建議，已將 IV 之說明文字調整為「橋梁狀況嚴重，對結構或耐洪性能造成嚴重影響。建議依橋況進行緊急處置或結構安全評估，經評估後採取適當之維修或補強，若難以有效維修或補強，或效益不高時，可考慮改建」。詳報告定稿表 3-4。	同意辦理。
4. 請補充說明指數 a(如表 3.9)及 b(如圖 3.2)之選用考量。	謝謝委員建議，已透過不同 a、b 指數對應之 SCI、FCI，重新選定 a=2、b=2，詳報告定稿表 3-13、表 3-14、表 3-24 及表 3-25。	同意辦理。
5. 對於跨水橋之橋墩基礎型式及深度不詳者，亦有其沖刷之風險，故表 3.4 $RI_F$ 是否亦如表 3.31 考量 A2-1 及 A2-2，請研究團隊參考研析。	謝謝委員意見，不建議移除 $RI_F$ 之啟動條件，因基礎型式不詳之橋梁通常基礎深度亦不詳，再加上、下游 500 公尺內有攔河堰或橋梁，易造成 $RI_F$ 非「中」即「高」。	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
<b>(二)本所許書耕前組長</b>		
1. 關於「SCI 的計算方式」		
(1) SCI 採三構件直接算術平均，及以重要指數 I 值做加權平均，二者估算出的值相差甚微，即加權平均似多此一舉。	謝謝委員意見，採算術平均或加權平均差異不大，主因為選用部位之 $I_i$ 較為接近所致，然部分橋梁僅有 2 部位，而作為該部位之代表構件不同時，算術平均或加權平均之差異亦可能增加。	敬悉。
(2) 算術平均或加權平均後只要再進行報告書所謂的 1~100 平均分布的處理，即 SCI 公式分子式加指數 4，分子項加 100 的指數 3，二者差異亦不大，但會與未處理 1~100 平均分布者有較大差異。這種差異，並非加權平均或算術平均的因素，而是 1~100 平均分布的處理所致。	謝謝委員意見，已透過不同 a、b 指數對應之 SCI、FCI，重新選定 a=2、b=2，詳報告定稿表 3-13、表 3-14、表 3-24 及表 3-25。	同意辦理。
(3) SCI 採算術平均者會自然形成區間分群的現象，即 100~99.5、99.4~98.1、98~91、90.9~80.1、80~50.1、50~0。在各區間中，其 D 或 R 惡化一級的增量相同，但此種增量相同的區間，未見於其他三種 SCI 公式的計算結果(加權平均者，亦有區間分群，惟群內增量並不相同，會略有振盪)，建請補充說明。	謝謝委員意見，已透過不同 a、b 指數對應之 SCI、FCI，重新選定 a=2、b=2，同時調整 SCI 及 FCI 之區間為 100~95、95~85、85~60 及 60 以下，詳報告定稿表 3-13、表 3-14、表 3-15、表 3-24、表 3-25 及表 3-26。	同意辦理。
(4) 本報告將 I~IV 等級的 SCI 值係以 98,85,60 來分界，由於 SCI 採算術平均者的增量會自然分群，如以算術平均法，I~IV 等級的分界似可改為 98,80,50，各級之間差異較大，似更有區別性。	謝謝委員意見，已調整 SCI 及 FCI 之區間為 100~95、95~85、85~60 及 60 以下，詳報告定稿表 3-15 及表 3-26。	同意辦理。
(5) 依本報告計算 SCI 的公式，其每惡化一單位的增量，會有很不自	謝謝委員意見，不同 DR 值原就非以等量增減，因此 SCI 依	敬悉。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
<p>然的突減現象，例如三類構件 D,R 值為 (3,2,3,2,3,2)，變為 (3,3,3,2,3,2)，只有其中一構件惡化一級，但 SCI 值卻是由 80.517 突降為 64.604，這種突降，純係 1~100 平均分布的處理所致，如再變為 (3,3,3,3,3,2)，即再惡化一級，其 SCI 值只由 64.604 降為 55.120，同樣是由 2 變為 3 的惡化，增量卻有如此不同，其意義甚難解釋，建請補充說明。</p>	<p>計算出之分數分為「良好」、「輕微」、「中等」及「嚴重」，亦有淡化數字給人之刻板印象之用意。</p>	
<p>(6) 採不採加權平均，影響甚微，且事實上，採平均，不論算術或加權，其 SCI 值即會在 0~100 分布，亦不會過於集中。但逕自採用額外的 1~100 平均分布的處理，其給予 SCI 值額外的效果，不但係對全橋狀態的扭曲，也增加計算的複雜性與解釋結果的困難性，似宜再斟酌。</p>	<p>謝謝委員意見，未使用指數 b(即 b=1)時，若單一部位 DR 均為 4，則 SCI 最高可達 72.14 分，已將選用之 b 值調整為 2，使單一部位 DR 均為 4 時，SCI 均在 60 分以下，詳報告定稿表 3-13。</p>	<p>敬悉。</p>
<p>2. 關於「構件重要性指標」 在估算 SCI 值時，報告書係採以構件重要性指標做加權平均，而加權的對象不是構件，而是部件，如橋面板一部，與上部結構的主梁。此二部的組成目前均只列一種構件，而下部結構則包含橋台基礎、橋台、橋墩基礎、橋墩、橋墩側向支撐等五種，各有其重要性指標，由於每次代表下部結構的構件並不一定，因而每次下部結構的權重均不同。建議有多種構件的部件，採用單一重要性指標，可以平均之，或擇其中最具有代表性者。</p>	<p>謝謝委員建議，橋梁型式不同時，存在之構件亦不同，若以下部結構為例，單跨橋僅有橋台及橋台基礎，多跨橋則會有橋台、橋台基礎、橋墩及橋墩基礎，無論是將存在之構件重要指標平均，或從中取數值最高者作為下部結構之權重，還是會因橋梁而異，故建議維持目前之方式。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>3. 關於「10 座橋的整橋評估方法驗證」</p>		

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
(1) 本計畫進行 10 座橋的整橋評估方法驗證時，係先由專家針對 10 座橋重做 1 次橋檢，得出各橋新的各構件 D,R 值檢測結果，經代入公式及程序中，估算出各橋的整橋評估值，最後再與專家對 10 座橋的直接評定值作比較。因屬成對檢定(pairwise comparisons)，二者間如有差異，純然只係本計畫擬訂的整橋評估方法的問題，不會參雜不同廠商對各橋各構件 D,R 值檢測品質各異的雜訊因素，此種作法，值得肯定。	謝謝委員肯定。	敬悉。
(2) 惟因只有 10 座橋，其對全國車行橋母體而言，代表性太不足。將來如仍要進行整橋評估方法的修訂，尤其是估算 SCI、FCI 值採用的二參數的校正，仍需進行具代表性的抽樣，增加更多的樣本來校正，使評估方法更趨穩定與更具代表性。	謝謝委員建議，已於報告中建議後續可邀請橋梁管理機關進行試辦，使用本「整橋風險評估模式」針對機關轄下橋梁進行評估，將評估結果與機關負責橋管人員進行討論，獲取意見回饋，作為模式調整之參考，詳報告定稿 6.2 節。	敬悉。
4. 後續研究與應用建議		
(1) 本研究範圍不含鋼構橋及特殊結構橋，未來應接續進行研究。	謝謝委員建議，已納入本報告建議事項，詳報告定稿 6.2 節。	敬悉。
(2) 在橋梁管理系統中，可增加固定表格，列出各縣市所管橋梁的整橋評估，所列表格，其顯示 I 級外，亦應顯原 SCI 及 FCI 值，及各三類構件的 CS 值等，以供快速掌握地方政府橋梁狀態。	謝謝委員建議，若日後會應用在橋梁管理系統，除整橋風險評估結果外，結構安全評等、耐洪安全評等、SCI、FCI 等均可一併列出。	敬悉。
<b>(三)高速公路局中區養護工程分局黃俊豪副分局長</b>		
1. 評估模式合乎邏輯且具可執行性，期中審查意見也均充分回應，值得肯定。	謝謝委員肯定。	敬悉。

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
2. SCI 調整指數採 $b=4$ 可凸顯受損程度較大之橋梁，惟凸顯幅度似有偏大情形，另依 10 座橋梁之 SCI 分佈結果，落於 65~90 分區間之橋梁相對較少，建議未來可嘗試調整 $a$ 、 $b$ 參數持續優化。	謝謝委員建議，已重新檢視指數 $a$ 及 $b$ 之數值組合，目前 $a$ 及 $b$ 均已調整為 2，詳報告定稿表 3-13、表 3-14、表 3-24 及表 3-25。另外，此二指數未來應可視機關之管理作為自行調整，輔助各機關篩選出需關注之橋梁。	同意辦理。
3. SCI 於良好等級之分數區間為 98~100 分，建議未來可適度研議放大。	謝謝委員建議，良好等級之分數區間已調整為 95~100 分，詳報告定稿表 3-15 及表 3-26。	同意辦理。
<b>(四)公路局北區養護工程分局楊秉順主任工程司</b>		
1. 採用 $a$ 、 $b$ 值的論述建議再強化說明。	謝謝委員建議，已透過不同 $a$ 、 $b$ 指數對應之 SCI、FCI，重新選定 $a=2$ 、 $b=2$ ，詳報告定稿表 3-13、表 3-14、表 3-24 及表 3-25。	同意辦理。
2. 建議再補充以往發生災害橋梁評估結果，以驗證本報告評估方式可靠度。	謝謝委員建議，已補充 2022/9/18 池上地震嚴重受損的「崙天大橋」及「高寮大橋」之整橋風險評估結果，詳報告定稿 4.3 節及附錄四。	同意辦理。
3. 第 111 頁，表 4.1 與表 4.13，代號 10 橋梁表 4.1 呈現 $U=4$ ，惟評估結果為等級 II，請釐清。	謝謝委員意見，表 4.1 為篩選案例評估橋梁時，當下橋梁管理系統中之資料，代號 10 橋梁當時在系統中並無維修紀錄，但本研究人員至現地檢測後發現該橋已維修。	敬悉。
4. 第 147 頁，目前存在檢測人員與公式計算差異性，未來係數如何調整，以達一致性，或是如何再修正。	目前公式計算結果，9 座橋梁均與檢測人員判定結果一致，僅代號 03 橋梁有差異一級。主要原因在於檢測人員認為該橋為單跨板橋，現場環境無明顯風險因子， $RI_s$ 評定屬「低」，然公式計算 $RI_s$ 屬「中」，造成最後之整橋風險	敬悉。

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
	評等差一級。未來應增加案例並進行分析，適度調整 RIs 評估項目，例如地盤種類是否要移除。	
5. 等級 II 可能會被判讀為等級 III，未來此類橋梁數量多寡為何？以避免後續造成養護機關困擾。	謝謝委員意見，針對若未來此評估模式應用於橋梁管理系統時，等級 II 或 III 之橋數多寡，目前無法給出明確答案，但等級 III 對應之說明為「建議進行適當之維修，或調高檢測頻率」，亦未述明維修期程，故機關按現行規橋梁檢測範中 U 值之規定，對橋梁進行維修即可。	敬悉。
6. 鋼橋或特殊性橋梁主要構件問題與本報告內容不同，未來研究方式建議再重新調整。	謝謝委員建議，已於報告中建議將鋼結構橋梁及特殊性橋梁納入後續研究範圍，詳報告定稿 6.2 節	敬悉。
7. 附錄 7 已有針對美國評估方式辦理，建議可補充於本文來印證可靠度。	謝謝委員建議，已於報告中增加美國方式檢測及評估之結果，詳報告定稿 4.1.4 節。	同意辦理。
8. 具鋼索特殊橋梁上部結構較多，也較重要，未來合併一個為「上部結構」(取 ES <sub>i</sub> 最小值)，是否會影響可靠度，建議補充說明。	特殊橋梁之特殊構件在規範之 DRU 評估表中已有加重其 R、U 值，相同 D 值之劣化，相對於主梁，特殊構件 R 值會較高，故其 ES <sub>i</sub> 會較主梁小。	敬悉。
<b>(五)高速公路局</b>		
1. 針對表 3.2 專家意見第 7 項，團隊回應已挑選 3 座橋使用美國之方式，惟該 3 座橋是否為契約規定 10 座橋之三，比對結果為何？另是否可考量亦採日本、南非、中國大陸等方式交叉比對。	使用美國之方式檢測之 3 座橋梁均為本研究之案例評估橋梁，比對結果已補列於報告定稿 4.3 節。 由於各國之檢測方式、劣化評等準則、記錄方式均異，本研究成員中因恰有取得 FHWA 檢測人員資格者，故使用美國之方式進行檢測及評估，未能	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
	針對日本、南非、中國大陸等方式進行檢測及評估。	
2. 針對 3.6 節中專家對整橋風險評估模式之相關意見第 11、14 項及 5.2 節之建議，結構安全評等若考量承载力計算，建議為何？橋管系統無交通量部分，本局橋梁可配合提供資料分析。另後續若考慮增加「防落橋長度」評估，本局橋梁亦可配合。	謝謝委員建議，依現行「公路橋梁檢測及補強規範」，表 C6.2.1 有關活載重因數變動之分界為「平均每日貨車流量」是否大於 1000，若未來橋梁管理系統可增加該欄位，可將「平均每日貨車流量」是否大於 1000 列入 RIs 評估項。另有關國道橋梁管理系統是否增加「規範防落橋長度」一事，可於該系統相關會議中研商。	敬悉。
3. 本次研究結果有無試辦之考量？建議補充說明。	謝謝委員意見，後續之應用方式將依交通部運輸研究所的規劃。	敬悉。
<b>(六)公路局</b>		
1. 5.2 節中，研究團隊提及後續將於「車行橋梁管理資訊系統」建立整橋風險評估計算功能，惟本局係以省道橋管系統進行橋梁維管作業，是否可於省道橋管系統一併納入計算功能，以利本局及養護單位作為內部參考使用。	謝謝委員意見，此事建議可於公路局省道橋梁管理系統相關會議中研商。	敬悉。
2. 日後於系統開放計算功能時，結果除呈現整橋風險評等外，建議一併列出結構及耐洪安全評等等級，以利橋管機關掌握橋梁進一步評估之方向。	謝謝委員建議，若日後會應用在橋梁管理系統，除整橋風險評估結果外，結構安全評等、耐洪安全評等均可一併列出。	敬悉。
3. 第 74 頁項次 3，服務單位因組改應改為交通部公路局北區公路新建工程分局。	謝謝委員指正，已修正專家之服務單位名稱，詳報告定稿表 5-1。	同意辦理。
4. 第 101 頁第一行，規範名稱應為「公路橋梁耐震評估與補強設計規範」。	謝謝委員指正，已修正報告中規範名稱，詳報告定稿第 89 及 94 頁。	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
<b>(七)臺北市府</b>		
1. 整橋風險評等的分數未來是否可作為橋梁評鑑中耐震補強的加分項。	謝謝委員意見，此事建議由橋梁評鑑主辦機關決定。	敬悉。
<b>(八)本所運管組(書面意見)</b>		
1. 第三章，表 3.2 第 1-3 項與表 3.3 第 1-3 項之「團隊處理方式」之內容均相同，是否有誤植？請再檢視。	謝謝建議，已調整原表 3.3 第 1-3 項「本研究處理方式」之內容，詳附錄二。	同意辦理。
2. 第四章「4.3 小結」，本研究提及：將團隊之檢測人員所評之整橋風險與使用本研究「整橋風險評估模式」公式所評出之結果進行以較，僅 1 座代號 03 橋梁有異，團隊之檢測員所評之整橋風險為 II，公式所評之整橋風險為 III…。後續並說明差異原因，並認為「最後，雖公式計算與團隊之檢測員判定相差一級，但於風險考量上是趨保守且較為安全。」，惟考量本評估模式後續如推廣運用時，隨評估之橋梁數增加，其不一致之現象是否會增加？建議是否可再做 double check (即將公式考量因素告知該檢測員，請該檢測員再評估或請第 2 位檢測員再評估該橋 1 次)，再以評估結果檢討是否有必要校正公式之相關參數。	謝謝建議，評估橋數增加，不一致之橋數是否會增加，目前無法給出明確答案，但從本研究增加計算 2 座去年 9 月 18 臺東池上強震斷橋，2 座均為 IV 之結果來看，本研究所提出之評估模式，從初步評估的角度來看具有一定準確度。有關代號 03 橋梁，研究團隊內部有進行討論，檢測人員認為要將評估結果由 II 提升至 III 亦可。	敬悉。
<b>(九)本所運工組</b>		
1. 建議「3.2 專家座談會」及學術會議等相關內容另增第五章說明。	謝謝建議，已配合增加第五章「專家座談會及學術會議」。	同意辦理。
2. 「3.1 專家訪談」撰寫內容應包括訪談目的、規劃及相關成果(包括摘整的專家意見及最後採行的意	謝謝建議，已配合調整 3.1「專家訪談」，移除原有表格並增加專家訪談意見摘整。原附錄	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
見)。建議於報告定稿中移除附錄二(訪談紀錄)內容,改為表 3.2~3.4 已整理過之相關資料。	二之「專家訪談紀錄」刪除,改放「專家訪談意見彙整」。	
3. 建議於報告定稿中移除附錄三(專家座談會簡報)內容,並將修訂後之期末報告簡報至於本報告附錄最後。	謝謝建議,已配合移除附錄之專家座談會簡報。並將期末報告簡報置於附錄八。	同意辦理。
4. 本研究所建立之模式為重要成果,建議摘整置於「結論」中。	謝謝建議,已於結論中增加整橋風險評估模式之簡要說明,詳報告定稿 6.1 節。	同意辦理。
5. 報告中的圖表皆應以文字說明其呈現內容,而不是讓閱讀者自行看圖表說故事,請整體性的檢核並補充圖表說明內容。	謝謝指正,已於第四章各表格上方增加說明文字,詳報告定稿第 104~113 頁及第 122~141 頁。	同意辦理。
6. 報告書中之錯別字、用語修辭及報告內容格式調整,將採面議方式提供修改建議請乙方進行修訂。	謝謝指正,配合面議結果修正。	敬悉。
<b>(十)主席結論</b>		
1. 有關高公局等機關(構)若希望運用本計畫研究成果進行橋梁整橋風險評估部分,請來函敘明願意使用或需協助教育訓練等事宜。	敬悉。	敬悉。
2. 請運工組評估將 a、b 參數優化與推廣應用納為 113 年自辦研究計畫項目。	敬悉。	敬悉。
3. 所建立風險評估模式為本計畫之重要成果,請摘整納入報告結論之中。	謝謝主席,已於結論中增加整橋風險評估模式之簡要說明,詳報告定稿 6.1 節。	同意辦理。
4. 審查會議各委員及與會單位研提之口頭及書面意見,請社團法人中華民國營建管理協會研究團隊整理「審查意見處理情形表」,且逐項說明回應辦理情形,並充分納入報告之修正。	謝謝主席,已製作審查意見回覆表並修正報告內容及附錄。	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. 本計畫經徵詢審查委員意見，報告初稿審查通過，請社團法人中華民國營建管理協會研究合作團隊於112年12月18日(一)前提送報告書修正定稿。	謝謝主席，已配合提送定稿報告。	敬悉。

## 附錄八 期末簡報



# 橋梁整橋風險評估模式之研究

期末簡報



## 簡報大綱

- 計畫背景
- 計畫工作項目
- 計畫範圍與流程
- 專家座談會
- 整橋風險評估分等
- 整橋風險評估模式
- 整橋風險評估流程
- 構件狀態指標
- 構件重要指數
- 結構安全評等
- 耐洪安全評等
- 案例評估橋梁現地檢測
- 案例評估橋梁整橋風險評估結果
- 崙天大橋及高寮大橋整橋風險評估結果
- 美國與本案整橋風險評估結果比對
- 結論與建議



## 計畫背景

- 民國108年10月1日，南方澳大橋發生斷橋事故
- 民國109年7月21日，行政院頒布「橋梁維護管理作業要點」
  - 橋梁分為車行橋梁、鐵道橋梁、人行天橋
- 民國109年1月3日，頒布修訂後之「公路養護規範」
- 民國109年1月3日，頒布修訂後之「公路橋梁檢測及補強規範」
  - 新建橋梁應於完工使用後二年內進行第一次定期檢測，爾後定期檢測之間隔以兩年為原則
  - 定期檢測方式以直接目視或間接目視檢測為主，依構件劣化狀況評定劣化程度(D值)、劣化範圍(E值)、劣化情況對橋梁結構使用性及用路人安全性之影響(R值)，以及處置的急迫性(U值)
  - 但此評定結果僅能針對構件進行維修處置之建議，無法反應橋梁整體狀況

3



## 計畫工作項目

- 一. 重要文獻回顧 (蒐集3國以上，利用目視檢測結果評定橋梁整體狀況之案例)
- 二. 研擬橋梁相關指標與權重
  - 從風險角度，研擬橋況評估指標，並建立適當的指標權重
  - 相關指標應可由目視檢測DER&U值進行分析，或由車行橋梁管理資訊系統中既有資料取得加入評估
- 三. 辦理專家學者訪談及座談
- 四. 建立橋梁整體橋況評估模式
  - 利用橋梁各相關指標，整合出一綜合評估指標，並建立橋梁整體橋狀況評估模式，以利快速評估橋梁整體狀況
- 五. 案例評估 (從車行橋梁管理資訊系統中選取10座橋梁進行評估)
- 六. 其他配合項目 (研究成果投稿、成果推廣、製作海報等)

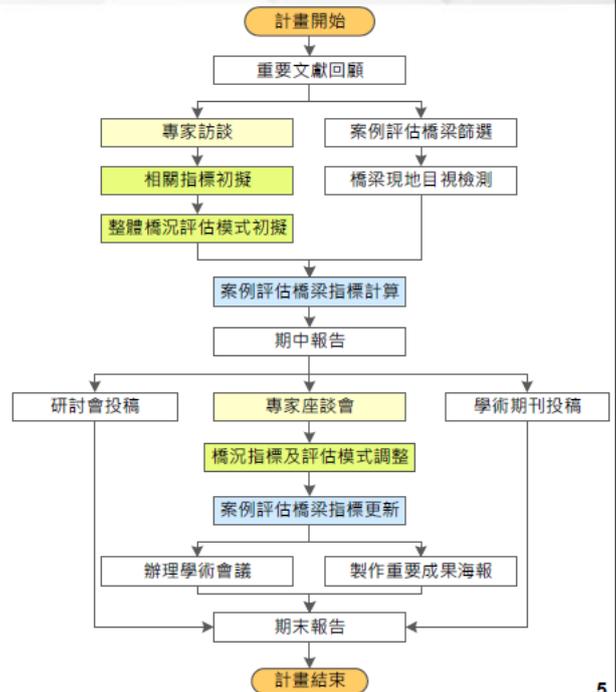
4



## 計畫範圍與流程

### ■ 研究範圍與限制

- 僅針對**車行橋梁**進行研究，鐵道橋梁及人行天橋不列入
- 僅針對**混凝土橋**，鋼結構橋梁不列入
- 僅針對**一般性橋梁**（梁式橋及板橋），特殊性橋梁不列入
- 利用**DER&U**定期檢測紀錄及**橋梁管理系統**中之**基本資料**進行評估，對於特殊狀況之橋梁不一定能準確評估



5



## 專家座談會(1/3)

- 2023/10/26 於運研所10樓會議室召開專家座談會
- 主要討論議題：
  - 整橋風險評估模式、SCI及FCI計算構件、案例橋梁檢測及評估結果

### 會議議程

時間	議程	主持人/簡報者
14:00~14:10	主席致詞	姚乃嘉 教授
14:10~14:40	整橋風險評估模式說明	廖先格 博士
14:40~15:10	案例橋梁檢測及評估	蔡欣局 博士
15:10~16:30	綜合討論	姚乃嘉 教授
16:30	散會	

### 與會專家

服務單位	職稱	姓名
中華顧問工程司	主任	王瑞麟
中興工程顧問股份有限公司	主任	葉啟章
交通部公路局西濱北工程處	工程司	李家順
交通部高速公路局頭城工務段	段長	鄭承鴻
華光工程顧問股份有限公司	工程師	張凱庭
臺灣營建研究院工程技術暨管理研究所	所長	張嘉峰
黎明工程顧問股份有限公司	協理	李坤哲

6



## 專家座談會 (2/3)

### ■ 專家相關建議及團隊處理方式(摘錄)

NO	專家意見	團隊處理方式
1	107年修訂公路橋梁檢測規範時將CI、PI移除，原因為CI、PI與實際的橋況有出入，此次結構安全評等的SCI值，雖然只取7個構件去評估，仍建議整橋的評估可以在單一構件壞掉時就顯現出來。過去將21個構件都列入評估，則單一構件壞掉對整橋分數的影響就不大。而此次採用最小值的觀念建議可以更廣泛的運用例如上部結構、下部結構、橋面板等，分部位各自計算所屬構件之 $CS_{ij}$ ，再取 $\min(CS_{ij})$ 為代表，在整橋風險上就會更接近實際橋梁的風險。	調整SCI及FCI計算公式，將SCI之7項構件分屬「橋面板」、「上部結構」及「下部結構」三大部位，將FCI之5項構件分屬「河道」、「護床工」及「基礎及保護設施」三大部位，各部位取所屬構件中 $ES_i$ 之最小者為代表。
2	建議可針對過去有發生災害的橋進行整橋風險評等計算，並探討計算結果與實際災害是否相符。	團隊針對918池上地震嚴重受損之「崙天大橋」及「高寮大橋」，使用車行橋梁管理資訊系統中2021年之定檢紀錄進行計算，兩座橋之整橋風險評等均為IV。
3	若未來對象為特殊性橋梁時，公式中的a、b指數值要如何選用？	本研究範圍雖未包含特殊橋，但依現在之模式，特殊橋構件同樣會分屬「上部結構」或「下部結構」因此a、b指數值應可沿用。

7



## 專家座談會 (3/3)

### ■ 專家相關建議及團隊處理方式(摘錄)

NO	專家意見	團隊處理方式
4	在耐震評估上「防落橋長度」很重要，本案並未考量到防落橋長度，且在單跨橋梁是不進行側推分析，主要針對防落橋長度、支承進行耐震評估，建議在SCI計算用構件可以加入防落設施。	目前車行橋梁管理資訊系統中，橋台、橋墩均有防落橋長度欄位，但未有「規範防落橋長度」及足可計算防落橋長度之相關資訊，故目前未能納入評估項目。
5	本案使用a、b指數值將分數差距顯現出來，相對新CI新PI值較不會被稀釋，但在橋梁現地檢測案例中，仍有部分數值被稀釋的情況。	調整SCI及FCI計算公式，將SCI之7項構件分屬「橋面板」、「上部結構」及「下部結構」三大部位，將FCI之5項構件分屬「河道」、「護床工」及「基礎及保護設施」三大部位，各部位取所屬構件中 $ES_i$ 之最小者為代表，可再降低分數被稀釋之情形
6	$RI_C$ 評等的A1-1及 $RI_L$ 評等的B1-1項「橋台或橋墩基礎裸露」在橋梁檢測時，部分橋梁基礎於汛期前、汛期後均被河水覆蓋，目視檢測無法判斷，因此啟動機制會遇到困難，橋梁管理系統上應如何填列？	此應屬檢測執行面之問題，部分橋管機關針對長年水位較高之橋梁，會進行河床斷面測量，若有發現基礎裸露，會反應在定檢紀錄中。

8



## 整橋風險評估分等

### ■ 整橋風險評估結果分為 I ~ IV，共4類(級)

- I：橋梁狀況良好，若無明顯會造成嚴重危害之因素，可於檢測規範所定範圍內，適度放寬檢測頻率
- II：橋梁狀況尚可，尚未影響結構或耐洪性能。可考慮進行預防性維修
- III：橋梁狀況較差，結構或耐洪性能已受影響。建議進行適當之維修，或調高檢測頻率
- IV：橋梁狀況嚴重，對結構或耐洪性能造成嚴重影響。建議依橋況進行緊急處置或結構安全評估，經評估後採取適當之維修或補強，若難以有效維修或補強，或效益不高時，可考慮改建

### ■ 橋梁管理機關仍須依檢測規範中U值之規定進行維修

### ■ 計算橋況相關指標(Index)時，僅使用未維修構件之D、R值

### ■ 橋梁構件經維修後會重新進行整橋風險評估

9



## 整橋風險評估模式

### ■ 臺灣屬於複合性災害區域，橋梁損毀(斷橋)之主要原因多為地震及基礎沖刷

### ■ 整橋風險評估結果，由結構安全評等、耐洪安全評等結果取較差者

### ■ 結構安全評等分為 I ~ IV，共4類(級)【跨水橋及非跨水橋】

- I：橋梁結構安全狀況良好
- II：橋梁結構安全狀況尚可
- III：橋梁結構安全狀況較差
- IV：橋梁結構安全狀況嚴重

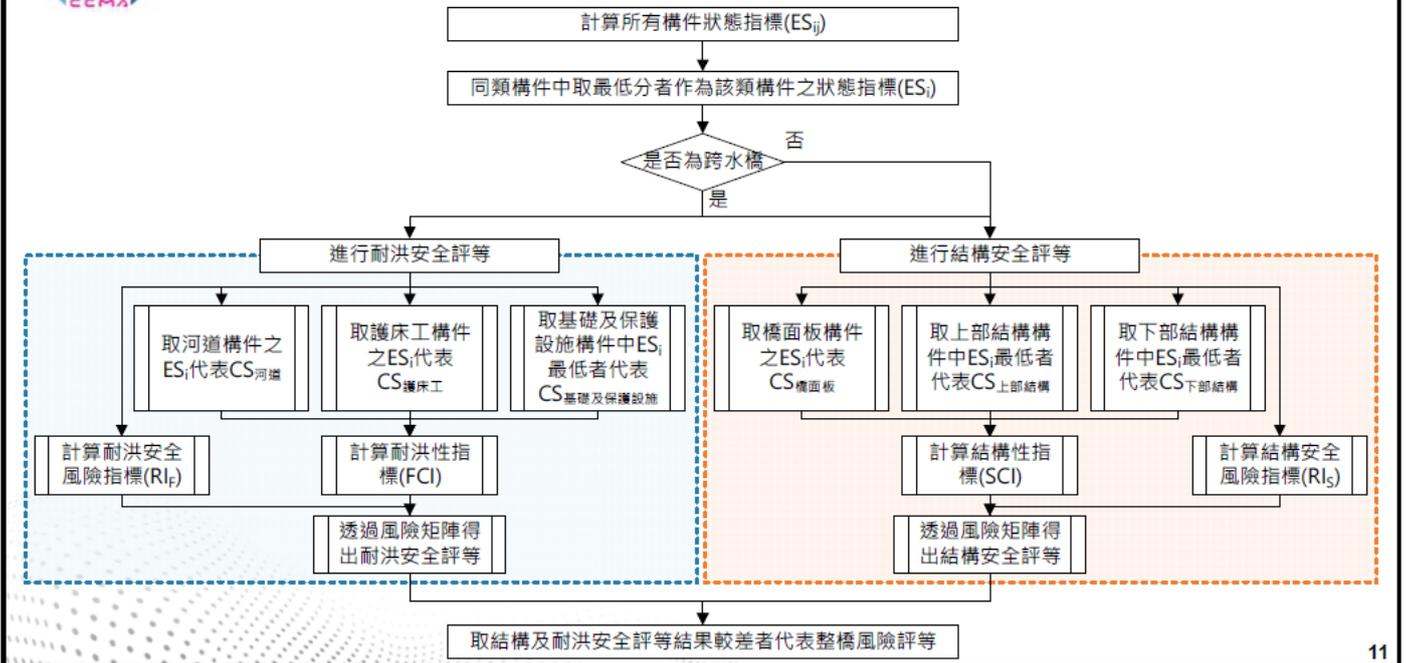
### ■ 耐洪安全評等分為 I ~ IV，共4類(級)【僅跨水橋】

- I：橋梁耐洪安全狀況良好
- II：橋梁耐洪安全狀況尚可
- III：橋梁耐洪安全狀況較差
- IV：橋梁耐洪安全狀況嚴重

10



# 整橋風險評估流程



11



# 構件狀態指標

## ■ 構件狀態指標(Element State)

$$ES_i = \min(ES_{ij})$$

$$ES_{ij} = 100 - 100 \times \left( \frac{D \times R}{4 \times 4} \right)^a$$

i：構件(檢測項目)編號

j：構件(檢測項目)i中，單一構件編號

ES<sub>i</sub>：構件(檢測項目)i之狀況指標

ES<sub>ij</sub>：構件(檢測項目)i中，構件編號為j之構件狀況指標

D：定期檢測表中該構件之劣化程度D值

R：定期檢測表中該構件之重要性R值

a：調整用指數，a=2

ES<sub>ij</sub>與過去計算CI時之IC<sub>ij</sub>公式相比：

移除E值：E值對構件狀態之影響不若D及R值重要，例如混凝土結構裂縫與混凝土剝落。

增加指數a：可明顯區隔不同程度DR值所計算出之ES<sub>ij</sub>。

12



## 構件重要指數(1/3)

- 過去計算CI、PI時使用之權重( $W_i$ )已不適用
  - 「公路橋梁檢測及補強規範」修訂後構件(檢測項目)已有增刪
  - 透過AHP法所計算出之 $W_i$ 為相對權重，當構件(檢測項目)非21項時，從學理上無法將不存在之構件 $W_i$ 進行分配

NO	構件(檢測項目)	$W_i$	NO	構件(檢測項目)	$W_i$
1	引道路堤	3	12	橋墩/橋基保護設施	6
2	引道護欄	2	13	橋墩基礎	8
3	河道	5	14	橋墩墩體/帽梁	7
4	引道路堤-保護措施	3	15	支承/支承墊	5
5	橋台基礎	6	16	防落設施	5
6	橋台	5	17	伸縮縫	6
7	翼牆/擋土牆	5	18	主要構件(大梁)	8
8	鋪面	3	19	次要構件(橫隔梁)	6
9	排水設施	4	20	橋面板	7
10	緣石及人行道	2	21	其他附屬設施	1
11	橋護欄	3			

13



## 構件重要指數(2/3)

- 依廖先格(2015)提出之構件重要指數( $I_i$ )計算方式，重新調查一般橋梁構件
- 彙整專家所填調查表數據，取算術平均數，得到各構件在6個評估面之數值

NO	構件名稱	整體結構安全 (s)	用路人服務性 (u)	修復所需時間 (t)	耐震安全 (e)	沖刷安全 (f)	土石流安全 (m)
1	引道路堤	1.000	2.900	2.100	0.600	0.800	0.900
2	引道路堤護欄	0.500	3.000	2.200	0.300	0.200	0.200
3	引道路堤保護措施	0.900	2.100	2.400	0.900	1.300	1.400
4	河道	1.600	1.000	3.100	0.800	3.300	2.700
5	護床工	1.600	1.000	3.350	0.400	3.500	2.500
6	橋台基礎	3.800	2.000	3.450	3.400	3.800	3.200
7	橋台	3.800	1.800	2.800	3.400	2.600	2.900
8	翼牆/擋土牆	2.250	1.600	2.600	1.900	1.500	2.000
9	橋梁排水設施	0.700	2.000	2.300	0.400	0.200	0.100
10	橋護欄	0.800	3.250	2.100	0.200	0.200	0.200
11	伸縮縫	1.950	3.700	2.200	1.800	0.600	0.400
12	支承/支承墊/阻尼裝置	2.600	1.350	3.050	3.400	0.700	0.700
13	防落設施	2.400	0.600	2.750	3.600	0.900	0.800
14	橋墩/橋基保護設施	1.700	1.000	3.000	1.300	3.300	3.000
15	橋墩基礎	4.000	2.100	4.000	3.600	3.900	3.300
16	橋墩/帽梁	3.900	2.200	3.250	3.600	2.500	2.900
17	橋墩側向支撐	2.800	1.400	2.750	3.300	1.600	1.600
18	主梁	3.900	2.750	3.300	3.000	0.800	1.700
19	橫隔梁	2.100	1.700	2.900	1.900	0.500	0.700
20	托梁	2.750	2.200	2.450	2.600	0.600	0.900
21	橋面板	3.650	3.350	2.900	2.700	0.600	0.900

14



## 構件重要指數(3/3)

- 將所得之平均值乘以所屬評估面之權重，最後加總成為構件之重要指數

□ 6個評估面之權重：整體結構安全=0.255 用路人服務性=0.050 修復所需時間=0.039  
 耐震安全=0.273 沖刷安全=0.228 土石流安全=0.155

NO	構件名稱	整體結構安全 (s*0.255)	用路人服務性 (u*0.050)	修復所需時間 (t*0.039)	耐震安全 (e*0.273)	沖刷安全 (f*0.228)	土石流安全 (m*0.155)	重要指數 (I <sub>i</sub> )
1	引道路堤	0.255	0.145	0.0819	0.1638	0.1824	0.1395	0.968
2	引道路堤護欄	0.1275	0.15	0.0858	0.0819	0.0456	0.031	0.522
3	引道路堤保護措施	0.2295	0.105	0.0936	0.2457	0.2964	0.217	1.187
4	河道	0.408	0.05	0.1209	0.2184	0.7524	0.4185	1.968
5	護床工	0.408	0.05	0.13065	0.1092	0.798	0.3875	1.883
6	橋台基礎	0.969	0.1	0.13455	0.9282	0.8664	0.496	3.494
7	橋台	0.969	0.09	0.1092	0.9282	0.5928	0.4495	3.139
8	翼牆/擋土牆	0.57375	0.08	0.1014	0.5187	0.342	0.31	1.926
9	橋梁排水設施	0.1785	0.1	0.0897	0.1092	0.0456	0.0155	0.539
10	橋護欄	0.204	0.1625	0.0819	0.0546	0.0456	0.031	0.580
11	伸縮縫	0.49725	0.185	0.0858	0.4914	0.1368	0.062	1.458
12	支承/支承墊/阻尼裝置	0.663	0.0675	0.11895	0.9282	0.1596	0.1085	2.046
13	防落設施	0.612	0.03	0.10725	0.9828	0.2052	0.124	2.061
14	橋墩/橋基保護設施	0.4335	0.05	0.117	0.3549	0.7524	0.465	2.173
15	橋墩基礎	1.02	0.105	0.156	0.9828	0.8892	0.5115	3.665
16	橋墩/帽梁	0.9945	0.11	0.12675	0.9828	0.57	0.4495	3.234
17	橋墩側向支撐	0.714	0.07	0.10725	0.9009	0.3648	0.248	2.405
18	主梁	0.9945	0.1375	0.1287	0.819	0.1824	0.2635	2.526
19	橫隔梁	0.5355	0.085	0.1131	0.5187	0.114	0.1085	1.475
20	托梁	0.70125	0.11	0.09555	0.7098	0.1368	0.1395	1.893
21	橋面板	0.93075	0.1675	0.1131	0.7371	0.1368	0.1395	2.225

15



## 結構安全評等

- 採用「結構安全橋況與風險矩陣」

		RI <sub>S</sub>			
		低	中	高	
SCI	良好	100 ≥ SCI ≥ 95	I	I	II
	輕微	95 > SCI ≥ 85	II	II	III
	中等	85 > SCI ≥ 60	II	III	IV
	嚴重	SCI < 60	IV	IV	IV

- 結構性指標 ( Structural Condition Index · 簡稱SCI )
- 結構安全風險指標 ( Risk Index for Structural Safety · 簡稱RI<sub>S</sub> )

16



## 結構安全評等 – 結構性指標(1/3)

### ■ 部位狀況指標(Component State, $CS_i$ )

- 過去計算CI將所有構件納入計算，易造成局部缺陷不易凸顯
- 參考美國橋梁檢測指標所採用之「橋面板」、「上部結構」及「下部結構」三大部位(Component)
- 將目前橋梁管理系統中高度影響與結構安全之構件分別歸屬於「橋面板」、「上部結構」及「下部結構」

NO	部位	美國NBE構件	SCI計算用構件	備註
1	橋面板 (Deck)	Deck, Slab, Top Flange, Open Grid Deck, Concrete Filled Grid Deck	橋面板	
2	上部結構 (Superstructure)	Box Girder, Girder, Stringer, Truss, Arch, Main Cable, Secondary Cable, Floor Beam, Pin, Pin and Hanger Assembly, Gusset Plate	主梁	未來加入特殊橋時應可增加拱圈、鋼纜系統及桁架構件
3	下部結構 (Substructure)	Column, Column Tower, Pier Cap, Pier Wall, Abutment, Pile Cap, Pile	橋台基礎、橋台、橋墩基礎、橋墩、橋墩側向支撐	未來加入特殊橋時應可增加橋塔基礎、橋塔、橋塔

17



## 結構安全評等 – 結構性指標(2/3)

### ■ 部位狀況指標(Component State, $CS_i$ )

- $CS_i$ 取所屬構件中 $ES_i$ 之最小者， $ES_i$ 分數相同時，取重要指標( $I_i$ )高者

$$CS_i = \min(ES_i)$$

- 例如：一座橋梁之下部結構構件如表所示

NO	構件編號	構件名稱	D	E	R	$ES_{ij}$	$ES_i$	$I_i$	$CS_i$
1	A01	橋台基礎		0		不計算	不計算	3.494	82.202
2	A02	橋台基礎		0		不計算			
3	A01	橋台	3	2	3	82.202	82.202	3.139	
4	A02	橋台	2	2	2	98.438			
5	P01	橋墩基礎	2	1	1	99.805	99.805	3.665	
6	P01	橋墩	3	1	3	82.202	82.202	3.234	

- 橋台及橋墩 $ES_i$ 分數同為最小，橋墩之 $I_i$ 值較高，故 $CS_{\text{下部結構}} = ES_{\text{橋墩}}$

18



# 結構安全評等 – 結構性指標(3/3)

## ■ SCI計算公式

$$SCI = \left( \frac{\sum_{i=1}^x (CS_i \times I_i)}{\sum_{i=1}^x I_i} \right)^b \div 100^{(b-1)}$$

- CS<sub>i</sub>: 部位i之狀況指標
- i: 部位編號
- I<sub>i</sub>: 代表部位i之構件重要指標
- x: SCI計算部位數，最大值為3
- b: 調整用指數，b=2

### SCI與CI之公式相比：

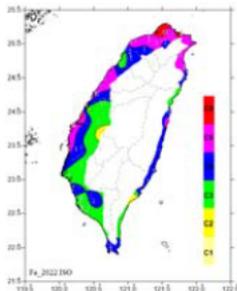
- 使用構件重要指標(I<sub>i</sub>)，取代原本的權重(w<sub>i</sub>)。
- 最多僅計算3項部位之CS<sub>i</sub>，非21項構件之IC<sub>i</sub>。
- 將加權後之分數增加一指數b再除100<sup>(b-1)</sup>，使SCI數值能較為平均的分佈在0~100之區間。



# 結構安全評等 – 結構安全風險指標(1/2)

## ■ 評估項目選用參考

- 公路橋梁耐震設計評估與補強規範
- 港研中心金屬腐蝕速率分類表



等級	說明
C1	腐蝕性非常低
C2	腐蝕性低
C3	腐蝕性中等
C4	腐蝕性高
C5	腐蝕性非常高
CX	腐蝕性極端高

## □ 公路橋梁設計規範

環境作用等級	離海岸的距離
極嚴重鹽害區	海水中飛沫區
嚴重鹽害區	離海岸300公尺以內之區域
中度鹽害區	離海岸300公尺至3公里以內之區域

表 3-1 公路橋梁耐震評估檢查表 – 基礎評估

項次	項目	配分	評	等	內	容	權重	評分
G101	橋墩為第一級液動影響區域	8	<input type="checkbox"/> 是(1.0) <input type="checkbox"/> 否(0)					
G102	地盤類別	4	<input type="checkbox"/> 台北盆地(1.0) <input type="checkbox"/> 桃園地區(0.67) <input type="checkbox"/> 沖積地盤(0.33) <input type="checkbox"/> 堅實地盤(0)					
G103	橋墩與橋墩間地表土質變化	2	<input type="checkbox"/> 是(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 否(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)					
G104	液化可能性	6	<input type="checkbox"/> 高(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 低(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)					
G105	橋墩與橋墩間土質係數差異	8	<input type="checkbox"/> 是(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 否(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)					

表 3-2 公路橋梁耐震評估檢查表 – 強度動性評估

項次	項目	配分	評	等	內	容	權重	評分
G201	橋墩為第一級液動影響區域	8	<input type="checkbox"/> 是(1.0) <input type="checkbox"/> 否(0)					
G202	地盤類別	6	<input type="checkbox"/> 台北盆地(1.0) <input type="checkbox"/> 桃園地區(0.67) <input type="checkbox"/> 沖積地盤(0.33) <input type="checkbox"/> 堅實地盤(0) <input type="checkbox"/> 76年以後設計(0)					
G203	液化可能性	6	<input type="checkbox"/> 高(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 低(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0) <input type="checkbox"/> 84年以後設計(0)					
G204	基礎埋置深度	4	$w = D / 60 \leq 1.0$					
G205	橋墩或雙式橋墩高深比	6	當 $r \leq 2.5$ : $w = 1.0$ ; 當 $2.5 < r \leq 5$ : $w = (5-r) / (2.5)$ ; 當 $r \geq 5$ : $w = 0$ (H.A.H. 1984)					
G206	橋墩單元中最高墩(柱)與最低墩(柱)高度比	4	當 $r \geq 1.5$ : $w = 1.0$ ; 當 $1.0 < r < 1.5$ : $w = -2 + 2r$					
G207	橋墩或雙式橋墩靜不定度	6	<input type="checkbox"/> 双向均靜定(1.0) <input type="checkbox"/> 一向靜不定(0.5) <input type="checkbox"/> 双向均靜不定(0)					
G208	基礎埋置深度	24	砂基礎: $w = 2.0 - 2.0(h_p / h)$ ; 沉箱基礎: $w = 1.43 - 1.43(h_p / h)$					
G209	一、柱底至橋墩頂部	8	<input type="checkbox"/> 有節縫(1.0) <input type="checkbox"/> 無節縫(0)					
G210	二、墩柱與橋墩頂部	8	<input type="checkbox"/> 民國 49 年以前(1.0) <input type="checkbox"/> 民國 49 年-76 年(0.67) <input type="checkbox"/> 民國 76 年以後(0)					
G211	三、墩頂與橋墩頂部	4	<input type="checkbox"/> 有節縫且節縫數目少於1節 <input type="checkbox"/> 有節縫但節縫不少於1節 <input type="checkbox"/> 無節縫(0)					
G212	橋墩與橋墩間土質係數	8	<input type="checkbox"/> 嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 內(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)					
G209	四、墩頂與橋墩頂部	6	<input type="checkbox"/> 有節縫(1.0) <input type="checkbox"/> 無節縫(0)					
G210	五、墩頂與橋墩頂部	8	<input type="checkbox"/> 民國 49 年以前(1.0) <input type="checkbox"/> 民國 49 年-76 年(0.67) <input type="checkbox"/> 民國 76 年以後(0)					
G211	六、墩頂與橋墩頂部	6	<input type="checkbox"/> 有節縫且節縫數目少於1節 <input type="checkbox"/> 有節縫但節縫不少於1節 <input type="checkbox"/> 無節縫(0)					
G212	七、墩頂與橋墩頂部	8	<input type="checkbox"/> 嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 內(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)					



## 結構安全評等 – 結構安全風險指標 (2/2)

### ■ $RI_S$ 評等方式

- A1-1及A1-2均未出現時， $RI_S$ =低
- 僅出現A1-1時，看A2-1至A2-6滿足幾項
- 僅出現A1-2時，看A2-3至A2-7滿足幾項
- A1-1及A1-2均出現時，看A2-1至A2-7滿足幾項
- 1項以下 $RI_S$ =低；2~3項 $RI_S$ =中；4項以上 $RI_S$ =高

		啟動條件
項次	項目	判斷方式
A1-1	橋台或橋墩基礎裸露	依定期檢測資料中橋台或橋墩基礎之劣化類型
A1-2	主要構件結構裂縫或鋼筋外露	依定期檢測資料中橋台、橋墩、主梁或橋面板之劣化類型
		評估項目
項次	項目	判斷方式
A2-1	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	依橋梁管理系統中橋梁基本資料
A2-2	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	依橋梁管理系統中橋梁基本資料
A2-3	墩柱與基礎嚴重劣化	依定期檢測資料中橋墩或橋墩基礎 $D > = 3$
A2-4	第一類活動斷層近域	依110年「公路橋梁耐震評估與補強設計規範」表2-2
A2-5	地盤類別為臺北盆地、第三類地盤或不詳	依橋梁管理系統中橋梁基本資料
A2-6	土壤液化潛勢為高	依橋梁管理系統中橋梁基本資料
A2-7	破鋼金屬腐蝕速率為C5或CX	依橋梁管理系統中橋梁基本資料
	離海岸300公尺以內	依橋梁管理系統中橋梁基本資料

21



## 耐洪安全評等

- 採用「耐洪安全橋況與風險矩陣」(僅針對跨水橋進行耐洪安全評等)

			$RI_F$		
			低	中	高
FCI	良好	$100 \geq FCI \geq 95$	I	I	II
	輕微	$95 > FCI \geq 85$	II	II	III
	中等	$85 > FCI \geq 60$	II	III	IV
	嚴重	$FCI < 60$	IV	IV	IV

- 耐洪性指標 (Flood Resistant Capacity Index, 簡稱FCI)
- 耐洪安全風險指標 (Risk Index for Flood Resistant, 簡稱 $RI_F$ )

22



## 耐洪安全評等 – 耐洪性指標(1/2)

### ■ 部位狀況指標(Component State, $CS_i$ )

- 比照SCI，將目前橋梁管理系統中高度影響沖刷安全之構件分別歸屬於「河道」、「護床工」及「基礎及保護設施」

NO	部位	FCI計算用構件	備註
1	河道	河道	
2	護床工	護床工	
3	基礎及保護設施	橋台基礎、橋墩基礎、橋墩/橋基保護設施	未來加入特殊橋時應可增加橋塔基礎

- $CS_i$ 取所屬構件中 $ES_i$ 之最小者， $ES_i$ 分數相同時，取重要指標( $I_i$ )高者

$$CS_i = \min(ES_i)$$

23



## 耐洪安全評等 – 耐洪性指標(2/2)

### ■ FCI計算公式

$$FCI = \left( \frac{\sum_{i=1}^y (CS_i \times I_i)}{\sum_{i=1}^y I_i} \right)^b \div 100^{(b-1)}$$

$CS_i$ ：部位 $i$ 之狀況指標

$i$ ：部位編號

$I_i$ ：代表部位 $i$ 之構件重要指標

$y$ ：FCI計算部位數，最大值為3

$b$ ：調整用指數， $b=2$

#### FCI與CI之公式相比：

- 使用構件重要指標( $I_i$ )，取代原本的權重( $w_i$ )。
- 最多僅計算3項部位之 $CS_i$ ，非21項構件之 $IC_i$ 。
- 將加權後之分數增加一指數 $b$ 再除 $100^{(b-1)}$ ，使FCI數值能較為平均的分佈在0~100之區間。

24



# 耐洪安全評等 – 耐洪安全風險指標(1/2)

## ■ 評估項目選用參考

### □ 公路橋梁耐洪能力初步評估表

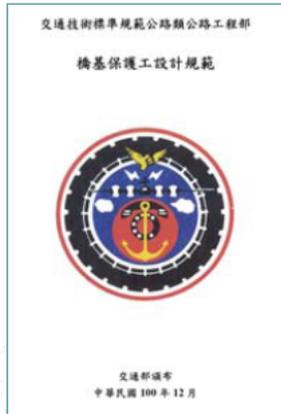


表 3-4-1 公路河海堤岸計畫設計規範

項次	項目	配分	評估內容	備註
1	1年內平均河床冲刷量	10	冲刷量(1.0) 冲刷量(1.5-4.0) 冲刷量(4.5-10.0) 冲刷量(10.0以上)	
2	河床冲刷量	4	冲刷量(1.0) 冲刷量(1.5-4.0) 冲刷量(4.5-10.0) 冲刷量(10.0以上)	
3	河床冲刷量	10	冲刷量(1.0) 冲刷量(1.5-4.0) 冲刷量(4.5-10.0) 冲刷量(10.0以上)	
4	鄰近河床冲刷	10	冲刷量(1.0) 冲刷量(1.5-4.0) 冲刷量(4.5-10.0) 冲刷量(10.0以上)	
5	上流壅水	3	冲刷量(1.0) 冲刷量(1.5-4.0) 冲刷量(4.5-10.0) 冲刷量(10.0以上)	
6	上流壅水	4	冲刷量(1.0) 冲刷量(1.5-4.0) 冲刷量(4.5-10.0) 冲刷量(10.0以上)	
7	基礎形式	3	冲刷量(1.0) 冲刷量(1.5-4.0) 冲刷量(4.5-10.0) 冲刷量(10.0以上)	
8	基礎埋置深度	10	冲刷量(1.0) 冲刷量(1.5-4.0) 冲刷量(4.5-10.0) 冲刷量(10.0以上)	
9	基礎上下游之冲刷	3	冲刷量(1.0) 冲刷量(1.5-4.0) 冲刷量(4.5-10.0) 冲刷量(10.0以上)	
10	流速與河床冲刷	4	冲刷量(1.0) 冲刷量(1.5-4.0) 冲刷量(4.5-10.0) 冲刷量(10.0以上)	
11	河床冲刷量	8	冲刷量(1.0) 冲刷量(1.5-4.0) 冲刷量(4.5-10.0) 冲刷量(10.0以上)	
12	冲刷量	4	冲刷量(1.0) 冲刷量(1.5-4.0) 冲刷量(4.5-10.0) 冲刷量(10.0以上)	
13	冲刷量	5	冲刷量(1.0) 冲刷量(1.5-4.0) 冲刷量(4.5-10.0) 冲刷量(10.0以上)	
14	冲刷量	12	冲刷量(1.0) 冲刷量(1.5-4.0) 冲刷量(4.5-10.0) 冲刷量(10.0以上)	
15	冲刷量	10	冲刷量(1.0) 冲刷量(1.5-4.0) 冲刷量(4.5-10.0) 冲刷量(10.0以上)	
小計		100		



# 耐洪安全評等 – 耐洪安全風險指標(2/2)

## ■ RI<sub>F</sub>評等方式

- B1-1未出現時，RI<sub>F</sub>=低
- 出現B1-1時，看B2-1至B2-9滿足幾項
- 1項以下RI<sub>F</sub>=低；2~3項RI<sub>F</sub>=中；4項以上RI<sub>F</sub>=高

啟動條件		
項次	項目	判斷方式
B1-1	橋台或橋墩基礎裸露	依定期檢測資料中橋台或橋墩基礎之劣化類型
評估項目		
項次	項目	判斷方式
B2-1	基礎嚴重裸露	依定期檢測資料中橋台基礎或橋墩基礎D>=3
B2-2	河道變遷	依定期檢測資料中河道之劣化類型
B2-3	鄰近有採砂	依定期檢測資料中河道之劣化類型
B2-4	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)或為直接基礎	依橋梁管理系統中橋梁基本資料
B2-5	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)或基礎深度未達10公尺	依橋梁管理系統中橋梁基本資料
B2-6	梁底高程不足	依橋梁管理系統中橋梁基本資料
B2-7	上、下游500公尺內是否有攔河堰	依橋梁管理系統中橋梁基本資料
B2-8	上、下游500公尺內是否有橋梁	依橋梁管理系統中橋梁基本資料
B2-9	具側向侵蝕或水躍(或跌水)冲刷的潛在因素	依定期檢測資料中河道及護床工之劣化類型



## 案例評估橋梁現地檢測(1/3)

■ 共篩選10座橋，板橋3座，梁式橋7座

橋梁代號	結構型式	橋孔數	跨水/河類別	系統中最近一次檢測主要構件狀態	系統中之檢測日期
01	板橋	1	縣市管河川	DRU均≤2	2021-07-30
02	板橋	2	縣市管河川	D=3、R=2~3、U=2	2023-03-30
03	板橋	1	縣市管河川	DRU均=3、基礎裸露	2023-05-04
04	梁式橋	3	縣市管河川	DRU均≤2	2021-08-25
05	梁式橋	2	縣市管區排	DRU均=3、基礎裸露	2022-03-15
06	梁式橋	3	縣市管河川	D=3、R=2~3、U=2、基礎裸露	2023-04-06
07	梁式橋	3	縣市管區排	DRU均=3	2023-03-23
08	梁式橋	3	中央管河川	D=4、R=3、U=3、基礎裸露	2022-06-22
09	梁式橋	3	縣市管河川	D=4、R=3、U=3、基礎裸露	2022-04-15
10	梁式橋	2	縣市管河川	DRU均=4	2022-11-09

27



## 案例評估橋梁現地檢測(2/3)

橋梁代號	01	02	03	04	05
最大DRU	D,R,U = 2,2,2	D,R,U = 2,2,2	D,R,U = 3,3,3	D,R,U = 2,2,2	D,R,U = 3,3,3
檢測照片	 橋台裂縫	 橋台裂縫	 橋台裂縫	 主梁裂縫	 主梁鋼筋外露
	 橋面板裂縫滲水	 橋台混凝土剝落	 橋台植生	 橋墩滲水白華	 橋墩鋼筋外露
	 護床工破損	 橋面板鋼筋外露	 橋面板鋼筋外露	 橋面板鋼筋外露	 橋墩基礎裸露

28



## 案例評估橋梁現地檢測(3/3)

橋梁代號	06	07	08	09	10
最大DRU	D,R,U = 2,2,2	D,R,U = 4,3,3	D,R,U = 4,3,3	D,R,U = 4,3,3	D,R,U = 2,2,2
檢測照片					

29



## 案例評估橋梁整橋風險評估結果(1/3)

### ■ 計算範例(橋梁代號09)

橋梁代號：09						SCI			FCI				
NO	構件名稱	D	E	R	U	劣化類型	ES <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> x CS <sub>i</sub> ÷ ΣI <sub>i</sub>
1	引道路堤	0											
2	引道路堤護欄	0											
3	引道路堤保護措施	0											
4	河道	1					100.000				100.000	1.968	34.937
5	護床工	0											
6	橋台基礎	0											
7	橋台	2	1	2	2	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	93.750						
8	翼牆/擋土牆	3	2	2	2		85.938						
9	橋梁排水設施	0											
10	橋護欄	1					100.000						
11	伸縮縫	0											
12	支承/支承墊/阻尼裝置	1					100.000						
13	防落設施	0											
14	橋墩/橋基保護設施	0											
15	橋墩基礎	4	4	3	3	基礎沖刷、裸露、掏空	43.750	43.750	3.665	19.052	43.750	3.665	28.465
16	橋墩/帽梁	2	2	1	1	植物生長	98.438						
17	橋墩側向支撐	0											
18	主梁	3	1	3	3	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	68.359	68.359	2.526	20.518			
19	橫隔梁	0											
20	托梁	0											
21	橋面板	3	2	2	2	滲水白華	85.938	85.938	2.225	22.720			
合計									8.416	62.290		5.633	63.402
									SCI	38.80		FCI	40.20

30



## 案例評估橋梁整橋風險評估結果(2/3)

### ■ 計算範例(橋梁代號09)

RI <sub>S</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A1-1	橋台或橋墩基礎裸露	有	V
A1-2	主要構件結構裂縫或鋼筋外露	有	V
RI <sub>S</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A2-1	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	直接基礎	
A2-2	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	不詳	V
A2-3	墩柱與基礎嚴重劣化	橋墩基礎 D=3	V
A2-4	第一類活動斷層近域	否	
A2-5	地盤類別為臺北盆地、第三類地盤或不詳	臺北盆地	V
A2-6	土壤液化潛勢為高	無	
A2-7	破鋼金屬腐蝕速率為C5或CX	CX	V
	離海岸300公尺以內	11995公尺	
RI <sub>S</sub> 評等			高

RI <sub>F</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B1-1	橋台或橋墩基礎裸露	有	V
RI <sub>F</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B2-1	基礎嚴重裸露	橋墩基礎 D=3	V
B2-2	河道變遷	無	
B2-3	鄰近有採砂	無	
B2-4	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)		
	基礎型式為直接基礎	直接基礎	V
B2-5	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	不詳	V
	基礎深度未達10公尺		
B2-6	梁底高程不足	最低支承高程：7.7 計畫洪水位：不詳 計畫堤頂高程：不詳	
B2-7	上下游500公尺內是否有攔河堰	無	
B2-8	上下游500公尺內是否有橋梁	有	V
B2-9	具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在因素	無	
RI <sub>F</sub> 評等			高

31



## 案例評估橋梁整橋風險評估結果(3/3)

橋梁代號	SCI	SCI分類	RI <sub>S</sub> 分類	結構安全評等	FCI	FCI分類	RI <sub>F</sub> 分類	耐洪安全評等	整橋風險評等(公式)	整橋風險評等(檢測員)
01	87.89	輕微	低	II	98.48	良好	低	I	II	II
02	87.89	輕微	低	II	100.00	良好	低	I	II	II
03	61.85	中等	中	III	100.00	良好	低	I	III	II
04	94.00	輕微	低	II	100.00	良好	低	I	II	II
05	46.73	嚴重	高	IV	92.03	輕微	中	II	IV	IV
06	87.89	輕微	低	II	100.00	良好	低	I	II	II
07	49.82	嚴重	中	IV	73.85	中等	低	II	IV	IV
08	47.09	嚴重	中	IV	100.00	良好	低	I	IV	IV
09	38.80	嚴重	高	IV	40.20	嚴重	高	IV	IV	IV
10	90.36	輕微	低	II	100.00	良好	低	I	II	II

32



## 崙天大橋及高寮大橋整橋風險評估結果(1/2)

橋梁名稱	SCI	SCI分類	RI <sub>S</sub> 分類	結構安全評等	FCI	FCI分類	RI <sub>F</sub> 分類	耐洪安全評等	整橋風險評等
崙天大橋	71.48	中等	高	IV	90.10	輕微	高	III	IV
高寮大橋	56.71	嚴重	中	IV	97.76	輕微	低	II	IV

橋梁名稱：崙天大橋						SCI				FCI			
NO	構件名稱	D	E	R	U	劣化類型	ES <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> × CS <sub>i</sub> + ΣI <sub>i</sub>	CS <sub>i</sub>	I <sub>i</sub>	I <sub>i</sub> × CS <sub>i</sub> + ΣI <sub>i</sub>
1	引道路堤	2	1	2	2		98.438						
2	引道路堤護欄	2	1	2	2		98.438						
3	引道路堤保護措施	1					100.000						
4	河道	1					100.000				100.000	1.968	26.184
5	護床工	1					100.000				100.000	1.883	25.053
6	橋台基礎		0										
7	橋台	2	2	2	2		98.438						
8	翼牆/擋土牆	3	1	2	2		94.727						
9	橋梁排水設施	1					100.000						
10	橋護欄	2	1	2	2		98.438						
11	伸縮縫	2	3	2	2		98.438						
12	支承/支承墊/阻尼裝置	2	2	2	2		98.438						
13	防落設施	1					100.000						
14	橋墩/橋基保護設施	2	3	1	1	防撞鋼板撞傷	99.805						
15	橋墩基礎	3	2	2	2	基礎沖刷、裸露、掏空	94.727	94.727	3.665	41.252	94.727	3.665	46.191
16	橋墩/帽梁	3	1	2	2	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	94.727						
17	橋墩側向支撐	0											
18	主梁	3	2	3	3	混凝土剝落、破碎、鋼筋、鋼管或撞碎	82.202	82.202	2.526	24.672			
19	橋隔梁	2	1	1	1		99.805						
20	托梁	0											
21	橋面板	2	1	2	2	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	98.438	98.438	2.225	26.025			
合計									8.416	91.949		7.516	97.429
									SCI	71.48		FCI	90.10

33



## 崙天大橋及高寮大橋整橋風險評估結果(2/2)

### ■ 崙天大橋

RI <sub>S</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A1-1	橋台或橋墩基礎裸露	有	V
A1-2	主要構件結構裂縫或鋼筋外露	有	V
RI <sub>S</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
A2-1	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	不詳	V
A2-2	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	不詳	V
A2-3	墩柱與基礎嚴重劣化	是	V
A2-4	第一類活動斷層近域	池上斷層	V
A2-5	地盤類別為臺北盆地、第三類地盤或不詳	第二類地盤	
A2-6	土壤液化潛勢為高	無	
A2-7	碳鋼金屬腐蝕速率為C5或CX	無資料	
	離海岸300公尺以內	12629公尺	
RI <sub>S</sub> 評等			高

RI <sub>F</sub> 啟動條件			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B1-1	橋台或橋墩基礎裸露	有	V
RI <sub>F</sub> 評估項目			
項次	項目	橋梁基本資料或檢測資料	符合條件
B2-1	基礎嚴重裸露	有	V
B2-2	河道變遷	無	
B2-3	鄰近有採砂	無	
B2-4	橋台或橋墩基礎型式不詳(含未填)	不詳	V
	基礎型式為直接基礎		
B2-5	橋台或橋墩基礎深度不詳(含未填)	不詳	V
	基礎深度未達10公尺		
B2-6	梁底高程不足	最低支承高程：197.1 計畫洪水位：198.9 計畫堤頂高程：200.4	V
B2-7	上下游500公尺內是否有攔河堰	有	V
B2-8	上下游500公尺內是否有橋梁	無	
B2-9	具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在因素	無	
RI <sub>F</sub> 評等			高

34



## 美國與本案整橋風險評估結果比對

### ■ 評估範例(橋梁07)

Element Number	Element Description	Unit of Measure	Total Quantity	CS1	CS2	CS3	CS4
12	Reinforced Concrete Deck	m <sup>2</sup>	629.8	626.8	0	3	0
1080	Delamination/Spall/Patched Area	m <sup>2</sup>	3	0	0	3	0
109	Prestressed Concrete Open Girder	m	295.8	204.4	0	91.4	0
1080	Delamination/Spall	m <sup>2</sup>	6.7	0	0	6.7	0
1090	Exposed Rebar	m	84.7	0	0	84.7	0
155	Reinforced Concrete Floor Beam	M	76.9	75.6	1	0.3	0
1080	Spall	m <sup>2</sup>	0.3	0	0	0.3	0
1130	Cracking (RC)	m	1	0	1	0	0
220	Reinforced Concrete Pier Cap	m	19	18	1	0	0
1130	Cracking (RC)	m	1	0	1	0	0
215	Reinforced Concrete Abutment	m	37.3	36.3	1	0	0
1130	Cracking (RC)	m	1	0	1	0	0

Item ID	Item	Code	Condition
B.C.01	Deck Condition Rating	6	Satisfactory
B.C.02	Superstructure Condition Rating	4	Poor
B.C.03	Substructure Condition Rating	7	Good
B.C.04	Culvert Condition Rating	N.A.	N.A.
B.C.09	Channel Condition Rating	4	Poor
B.C.10	Channel Protection Condition Rating	N.A.	N.A.
B.C.11	Scour Condition Rating	8	Very Good
B.C.12	Bridge Condition Classification	P	Poor

### ■ 評估結果(橋梁06、07、10)

橋梁代號	河道狀況評等 (美國方法)	沖刷狀況評等 (美國方法)	整橋風險評等 (美國方法)	整橋風險評等 (本研究結果)
06	Good	Good	Fair	II
07	Poor	Good	Poor	IV
10	Good	Good	Fair	II

35



## 結論與建議(1/4)

### ■ 結論

- 本研究提出之「整橋風險評估模式」，評估結果分為I~IV共四個等級，I為良好、II為尚可、III屬較差、IV為嚴重
- 「整橋風險評估模式」使用定期檢測紀錄及橋梁管理系統中之基本資料評估
- 「整橋風險評估」結果是由「結構安全評等」及「耐洪安全評等」中取較差者為代表
- 「結構安全評等」使用SCI及RI<sub>s</sub>所建立之風險矩陣判定
- 「耐洪安全評等」使用FCI及RI<sub>f</sub>所建立之風險矩陣判定
- 針對10座案例評估橋梁進行現地檢測，團隊之檢測員所評之整橋風險與「整橋風險評估模式」所評出之結果，有9座結果相同，僅1座代號03橋梁有異
- 除特殊狀況外（例如偏心橋、重車超載等），在一般狀態下，本「整橋風險評估模式」能初步評估並反應出橋梁之狀況，供橋梁管理機關後續處置及管理決策之參考

36



## 結論與建議(2/4)

### ■ 結論

- 本研究已投稿「營建產業永續發展研討會」，並於2023/10/14口頭發表
- 本研究已投稿「Structure and Infrastructure Engineering」期刊(SCI)，並於2023/11/03被接受
- 本研究已於2023/11/09舉辦一場公開之學術會議，介紹本研究之成果，共58人與會



37



## 結論與建議(3/4)

### ■ 建議

- 邀請部分橋梁管理機關進行試辦，使用本「整橋風險評估模式」針對機關轄下橋梁進行評估，再將評估值與機關人員進行討論，獲取回饋意見，作為模式調整之參考
- 日後各機關實際使用本「整橋風險評估模式」時，可視其管理作為強度自行調整a及b指數，同時SCI及FCI之分數區間亦須隨之調整
- 將鋼結構橋梁及特殊性橋梁納入研究範圍，另行調查特殊橋梁構件重要指數，並適度調整計算用之部位、構件、公式及相關參數
- 於車行橋梁管理資訊系統中建立「整橋風險評估」計算功能，可顯示各橋之整橋風險評估分級、結構安全評估分級、耐洪安全評估分級、SCI、FCI、 $RI_s$ 、 $RI_f$ 等數值，所得出之結果暫供內參，待充分驗證後再開放
- 日後各機關之橋梁管理系統可考慮增加「交通量」相關欄位，例如「平均每日貨車流量」

38



## 結論與建議 (4/4)

### ■ 建議

- 日後各機關之橋梁管理系統可考慮增加「規範防落橋長度」或足以計算之相關欄位，便可將「防落橋長度」是否符合「規範防落橋長度」列入 $RI_5$ 評估項。
- 由於「整橋風險評估」係使用橋梁管理系統中之橋梁基本資料及定期檢測紀錄，對於特殊狀況之橋梁不一定能準確評估，建議後續各機關執行定期檢測時可考慮增加「檢測人員風險評等」供參
- 日後橋梁檢測規範修訂時，針對定期檢測可增加對上部結構、下部結構、橋梁整體等部位之評等