

110-074-6209
MOTC-IOT-109-TCF004

運輸系統因應氣候變遷調適之研究



交通部運輸研究所

中華民國 110 年 7 月

110-074-6209
MOTC-IOT-109-TCF004

運輸系統因應氣候變遷調適之研究

著者：吳清如、任雅婷、韋懿軒、劉士豪
曾佩如、朱珮芸、徐偉誌、李仕勤、蕭為元

交通部運輸研究所

中華民國 110 年 7 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

運輸系統因應氣候變遷調適之研究/吳清如, 任雅婷, 韋懿軒, 劉士豪, 曾佩如, 朱珮芸, 徐偉誌, 李仕勤, 蕭為元著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 110.07

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-312-8 (平裝)

1. 交通管理 2. 運輸系統 3. 風險管理

557

110011053

運輸系統因應氣候變遷調適之研究

著者：吳清如、任雅婷、韋懿軒、劉士豪
曾佩如、朱珮芸、徐偉誌、李仕勤、蕭為元

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 (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 110 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 68 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：360 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組 • 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：1011000968

ISBN：978-986-531-312-8 (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：運輸系統因應氣候變遷調適之研究			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-531-312-8(平裝)	政府出版品統一編號 1011000968	運輸研究所出版品編號 110-074-6209	計畫編號 109-TCF004
本所主辦單位：綜合技術組 主管：曾佩如 研究人員：朱珮芸、徐偉誌、李仕勤、蕭為元 聯絡電話：(02)23496876 傳真號碼：(02)27120223	合作研究：鼎漢國際工程顧問股份有限公司 計畫主持人：吳清如 研究人員：任雅婷、韋懿軒、劉士豪 地址：110 臺北市信義區松山路 130 號 5 樓 聯絡電話：(02)27488822		研究期間 自 109 年 3 月 至 109 年 12 月
關鍵詞：溫室氣體減量管理法、氣候變遷、調適策略、運輸系統、風險資訊			
<p>摘要：</p> <p>104 年 7 月公布施行之《溫室氣體減量及管理法》，明定中央目的事業主管機關應進行調適策略之研議。前揭事項涉及不同運輸設施權責機關（構），係屬部層級之施政策略方向，爰需對運輸設施有上位政策之探討。</p> <p>本計畫滾動檢討 108 年計畫研擬之運輸系統調適策略，納入國內相關機關（構）研擬未來之調適方向、國外調適的新趨勢，並蒐集國外運用數位科技提升鐵公路於不同生命週期的調適能力之案例，如運用 GIS 於規劃階段迴避高氣候風險潛勢區；運用數位分身於設計施工階段模擬設計與掌握施工狀態；運用感測器、大數據、物聯網與數位分身等維護管理鐵公路系統，並分析我國可借鏡處，提供設施管理機關（構）推動調適計畫之參考。</p> <p>為進一步協助鐵公路管理機關掌握設施在氣候變遷環境下的狀態，以鐵公路調適資訊平台之風險資訊辦理移轉，並辦理調適專業知識的教育訓練，以提升設施管理機關（構）人員對調適的了解。</p> <p>後續建議有關機關（構）在調適工作的推動上需將調適預算與基金於國內部會中長期預算籌編、落實調適思維的主流化、訂定風險評估方法並定期評估、檢討與修訂運輸系統設施規劃、設計、施工及養護相關規範、加強推動跨部門整合與資訊共享、建立調適計畫之監控、評估與學習機制，善用數位科技提升調適能力。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
110 年 7 月	310	360	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 the Climate Change Adaptation for Transport Systems			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-531-312-8 (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011000968	IOT SERIAL NUMBER 110-074-6209	PROJECT NUMBER 109-TCF004
DIVISION: Interdisciplinary Research Division DIVISION DIRECTOR: Pei-Ju Tseng PRINCIPAL INVESTIGATOR: Pei-Ju Tseng PROJECT STAFF: Pei-Yun Chu, Wei-Chih Hsu, Shin-Chin Lee, Wei-Yuan Hsiao PHONE: 886-2-23496876 FAX: 886-2-27120223			PROJECT PERIOD FROM March 2020 TO December 2020
RESEARCH AGENCY: THI Consultants Inc. PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ching-Ru Wu PROJECT STAFF: Ya-Ting Jen, Yi-Hsuan Wei, Shih Hao Liu ADDRESS: 5F, No. 130, Sung-Shan Road, Taipei, Taiwan, R.O.C. PHONE: 886-2-27488822			
KEY WORDS: Greenhouse Gas Reduction and Management Act, climate change, adaptation strategy, transportation system, risk information			
<p>ABSTRACT:</p> <p>The Greenhouse Gas Reduction and Management Act announced in July 2015 requires the central industry competent authorities to develop adaptation strategies. This requirement involves many agencies, and the Ministry of Transportation is responsible for developing the transportation adaptation strategy.</p> <p>This project reviewed the strategies for the adaptation of the transportation system drafted in the 2019 project, incorporating the future directions for adaption by relevant domestic agencies and new international adaptation trends. This project also collected cases of foreign countries using digital technologies to enhance the adaptive capacity of railway and highway systems within different life cycles, for example: using the Geographic Information System (GIS) in the planning phase to avoid high climate risk areas; using a digital twin in the design and construction phase to simulate designs and monitor construction progress; using sensors, big data, Internet of Things (IoT), and digital twin to assist the maintenance and management of railway and highway systems. This project analyzed the areas where Taiwan could learn from these examples and proposed references for competent authorities to promote adaptation projects.</p> <p>Risk information on the adaptation platform was transferred to the railway and highway agencies to help them manage their climate risk. Adaptation knowledge training was held to strengthen the understanding of adaptation among the staff of the transportation administrations.</p> <p>For the future, we recommended agencies assign an adaptation budget and funds in their mid- and long-term plans and to mainstream thinking in terms of adaptation. We also recommend agencies analyze the climate risk of their systems regularly. Agencies should review and edit planning, design, construction, and maintenance guidelines. In addition, inter-department integration and information sharing are crucial in elevating the adaptation capacities of transportation systems. Close monitoring, evaluation, and learning mechanisms are needed to ensure positive results of the adaption actions. The use of digital technologies to improve adaptive capacities is also a strategy to consider.</p>			
DATE OF PUBLICATION July 2021	NUMBER OF PAGES 310	PRICE 360	
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.....	V
表 目 錄.....	VIII
第一章 緒論.....	1-1
1.1 計畫背景與目的.....	1-1
1.2 計畫工作項目.....	1-2
1.3 計畫範圍與對象.....	1-4
1.4 計畫工作流程.....	1-5
1.5 報告名詞與定義.....	1-6
第二章 文獻回顧.....	2-1
2.1 氣候變遷對運輸系統之衝擊概述.....	2-1
2.2 前期計畫與調適資訊平台成果.....	2-5
2.3 國際氣候變遷調適策略趨勢.....	2-13
2.4 運輸系統氣候變遷衝擊評估作業.....	2-24
2.5 鐵公路系統因應氣候變遷調適.....	2-28
2.5.1 鐵路系統.....	2-28
2.5.2 公路系統.....	2-36
2.6 海空運系統因應氣候變遷調適.....	2-50
2.6.1 海運系統.....	2-50
2.6.2 空運系統.....	2-60
2.7 小結.....	2-66
第三章 鐵公路系統調適新科技運用趨勢.....	3-1
3.1 國家科技發展政策.....	3-1
3.2 國內鐵公路新科技運用概況.....	3-6
3.2.1 鐵路系統.....	3-6
3.2.2 公路系統.....	3-9
3.3 國外鐵公路調適新科技運用案例.....	3-12
3.3.1 案例蒐集範疇界定.....	3-12
3.3.2 規劃階段.....	3-15
3.3.3 設計施工階段.....	3-17

3.3.4 營運維護階段.....	3-21
3.4 鐵公路運用新科技於調適之建議.....	3-30
3.4.1 強化調適能力之新科技運用方向	3-30
3.4.2 新科技運用之注意事項	3-32
第四章 運輸系統調適策略滾動檢討.....	4-1
4.1 滾動檢討作業流程.....	4-1
4.2 運輸系統調適策略定位及性質	4-3
4.3 規劃目標及範疇界定	4-4
4.4 設施管理機關（構）意見彙整	4-6
4.5 調適策略檢討調整說明	4-9
4.6 調整後調適策略.....	4-15
4.6.1 策略一：提升氣候衝擊耐受度	4-15
4.6.2 策略二：降低氣候衝擊脆弱度	4-23
4.6.3 策略三：優化氣候衝擊反應力	4-26
4.6.4 策略四：建構氣候衝擊決策力	4-28
4.6.5 運輸系統調適策略與措施綜理	4-35
第五章 調適平台風險資訊移轉與維護管理.....	5-1
5.1 風險評估移轉規劃.....	5-1
5.2 風險評估移轉溝通.....	5-11
5.3 風險評估移轉最適方案	5-18
5.4 平台維護管理	5-20
5.4.1 介面維護	5-20
5.4.2 資安防護	5-23
第六章 結論與建議.....	6-1
6.1 結論.....	6-1
6.2 建議.....	6-9
參考文獻.....	參-1
附錄 1 計畫摘要.....	附 1-1
附錄 2 審查意見辦理情形.....	附 2-1
附錄 3 成果發表與報導文章.....	附 3-1
附錄 4 計畫簡報.....	附 4-1

圖目錄

圖 1.3.1	計畫範圍與資訊服務對象	1-4
圖 1.4.1	計畫工作流程	1-5
圖 2.1.1	氣候變遷對公路的影響	2-2
圖 2.1.2	氣候變遷對鐵路的影響	2-3
圖 2.1.3	氣候變遷對機場的影響	2-3
圖 2.1.4	氣候變遷對商港的影響	2-4
圖 2.2.1	鐵公路氣候變遷調適資訊平台介面	2-10
圖 2.2.2	風險評估辦理方式方案	2-12
圖 2.2.3	風險評估移轉溝通作業流程	2-12
圖 2.3.1	ISO14090 架構示意圖	2-18
圖 2.3.2	ISO14090 原則	2-19
圖 2.3.3	ISO14090 衝擊評估方法	2-21
圖 2.3.4	ISO14090 調適計畫	2-22
圖 2.3.5	ISO14090 調適計畫執行之管理與溝通	2-23
圖 2.4.1	德國運輸系統氣候變遷調適作業流程示意圖	2-27
圖 2.4.2	德國運輸系統氣候衝擊評估分析流程示意圖	2-27
圖 2.5.1	連續天氣事件對運輸系統的衝擊	2-29
圖 2.5.2	運輸系統的價值鏈	2-30
圖 2.5.3	提升韌性的 6 大領域	2-32
圖 2.5.4	鐵路改善計畫風險評估結果示意圖	2-35
圖 2.5.5	以 500 年雨水重現期設計之橋墩高度(左圖)、邊坡防護(右圖)	2-36
圖 2.5.6	自然為本元素與結構元素風險程度適用性	2-38
圖 2.5.7	植被示意圖	2-39
圖 2.5.8	防波堤示意圖	2-39
圖 2.5.9	海欄示意圖	2-40
圖 2.5.10	袋狀海灘示意圖	2-40
圖 2.5.11	養灘示意圖	2-41
圖 2.5.12	沙丘示意圖	2-41
圖 2.5.13	沿海公路以自然為本的調適措施流程	2-43
圖 2.5.14	從氣候脆弱度評估到調適執行的過程	2-44
圖 2.5.15	將氣候調適的成本效益概念納入運輸規劃的每個階段	2-45
圖 2.5.16	改善之涵洞地點與外觀	2-48
圖 2.6.1	階段 1 (界定關聯性與調適目標) 流程圖	2-50
圖 2.6.2	階段 2 (氣候變遷預測及情境分析) 流程圖	2-52
圖 2.6.3	階段 3 (評估脆弱度及風險) 流程圖	2-55
圖 2.6.4	階段 4 (建立調適選項) 流程圖	2-58
圖 2.6.5	兩步驟評估方法-機場氣候風險流程圖	2-60
圖 2.6.6	風險值比較圖	2-63

圖 2.6.7 VAST 軟體分析架構圖	2-65
圖 3.1.1 數位國家·創新經濟發展方案之發展願景	3-1
圖 3.1.2 建構民生物聯網計畫之目標	3-3
圖 3.1.3 科技產業政策白皮書主軸	3-5
圖 3.2.1 台灣高鐵的智慧運輸發展主軸	3-6
圖 3.2.2 地面光達雷射掃描儀	3-7
圖 3.2.3 鐵路邊坡全生命週期維護管理系統功能	3-9
圖 3.2.4 鐵路邊坡全生命週期維護管理系統架構	3-9
圖 3.2.5 應用無人機進行高坡度邊坡巡檢	3-10
圖 3.2.6 應用無人機結合 AI 辨識固床工狀態	3-11
圖 3.2.7 3D 點雲模型與量測示意圖	3-11
圖 3.3.1 公共建設全生命週期概念圖	3-14
圖 3.3.2 哈維颶風影響之地形分析應用	3-16
圖 3.3.3 地理資訊系統於設施規劃階段之應用	3-17
圖 3.3.4 數位分身的種類	3-18
圖 3.3.5 數位分身的等級	3-20
圖 3.3.6 Bybanen 輕軌數位分身	3-21
圖 3.3.7 CRTM3000 (關鍵軌道溫度監控器 3000 型) IoT 感測器	3-22
圖 3.3.8 長距離廣域網 (LoRaWAN) 技術示意圖	3-22
圖 3.3.9 鐵軌溫度即時感測鐵軌挫屈風險預測應用程式畫面	3-23
圖 3.3.10 紅外線攝影功能監測鐵軌溫度變化	3-23
圖 3.3.11 鐵軌零應力量溫度感測器	3-24
圖 3.3.12 Trimble GEDOScan 系統及其作業過程圖	3-24
圖 3.3.13 GEDO Scan Office 軟體三維 (3D) 掃描成像示意圖	3-25
圖 3.3.14 隧道人力檢測 (左圖) 雷射辨識 (右圖)	3-26
圖 3.3.15 地理資訊系統於設施管理之應用	3-26
圖 3.3.16 Moxi 評估流程	3-27
圖 3.3.17 Autostrade IoT 現場應用 (左圖) 與功能架構 (右圖)	3-29
圖 3.3.18 斯德哥爾摩公路橋梁數位分身計畫	3-29
圖 3.4.1 AI 的適用情境	3-33
圖 4.1.1 調適策略檢討作業流程	4-2
圖 4.2.1 國家氣候變遷調適計畫架構	4-3
圖 4.3.1 調適策略目標	4-5
圖 4.5.1 因應極端事件促進氣候變遷調適風險管理方法	4-9
圖 4.5.2 運輸系統氣候變遷調適目標及四大策略	4-10
圖 4.5.3 運輸系統氣候變遷調適四大策略及 15 項措施架構示意圖	4-12
圖 4.6.1 鐵公路氣候變遷風險評估流程與方法示意圖	4-16
圖 4.6.2 公共建設計畫辦理程序	4-17
圖 4.6.3 GIS 選址分析示意圖	4-18
圖 4.6.4 代表濃度途徑情境	4-19

圖 4.6.5 重複性嚴重受損設施改線案例-蘇花公路山區路段改善計畫.....	4-20
圖 4.6.6 臺鐵改線計畫	4-20
圖 4.6.7 防洪設施示意圖	4-21
圖 4.6.8 坡面穩定工法類型	4-22
圖 4.6.9 鐵公路數位分身示意圖	4-23
圖 4.6.10 風險監測設備與資訊示意圖	4-24
圖 4.6.11 運輸系統介面受天氣事件衝擊示意圖	4-25
圖 4.6.12 鐵公路的跨運輸備援方案	4-26
圖 4.6.13 衝擊後勘查之科技示意圖	4-28
圖 4.6.14 調適計畫成本效益評估輔助軟體示意圖	4-29
圖 4.6.15 公共工程全生命週期	4-30
圖 4.6.16 碼頭維護管理系統功能架構.....	4-31
圖 4.6.17 利害關係人範疇	4-34
圖 4.6.18 利害關係人溝通與氣候變遷寓教於樂	4-35
圖 5.1.1 鐵公路氣候變遷調適資訊平台成果	5-2
圖 5.1.2 風險評估流程與風險矩陣	5-3
圖 5.1.3 評估指標圖資料處理邏輯	5-3
圖 5.1.4 風險資訊移轉分階段辦理事項	5-4
圖 5.1.5 風險資訊移轉方案	5-5
圖 5.1.6 方案一圖資移轉範疇	5-6
圖 5.1.7 風險圖資彙總方式	5-6
圖 5.1.8 單機版套疊風險圖資示意圖	5-7
圖 5.1.9 方案二評估方法移轉範疇	5-8
圖 5.1.10 評估方法移轉文件與說明	5-8
圖 5.1.11 方案三風險平台移轉範疇	5-9
圖 5.1.12 平台移轉架設流程圖	5-10
圖 5.2.1 風險資訊移轉溝通程序示意圖	5-12
圖 5.2.2 風險資訊移轉方案比較	5-15
圖 5.3.1 各機關（構）選擇之風險圖資移轉方案	5-19
圖 5.4.1 民生示警公開資料平台介接說明	5-20
圖 5.4.2 平台介接民生示警公開資料介面展示	5-21
圖 5.4.3 uptime robot 連結監控畫面.....	5-23
圖 5.4.4 資安防護作業	5-24
圖 5.4.5 資料庫監控	5-24
圖 5.4.6 資安檢測畫面	5-26
圖 5.4.7 系統壓力檢測畫面	5-28
圖 6.1.1 運輸系統調適策略架構示意圖	6-6

表 目 錄

表 2.2-1 運輸系統氣候變遷調適策略一覽表 (108 年研究成果)	2-6
表 2.2-2 鐵路調適新科技應用之優缺點與國內適用性.....	2-8
表 2.2-3 公路調適新科技應用之優缺點與國內適用性.....	2-9
表 2.3-1 「巴黎協定」重要條文.....	2-14
表 2.5-1 利害關係人類型與舉例.....	2-31
表 2.5-2 流量預測.....	2-48
表 2.6-1 風險評估分級表.....	2-57
表 2.6-2 機場氣候營運風險檢視方法-以彭薩科拉國際機場為例	2-61
表 2.6-3 1000 次蒙地卡羅模擬分析結果.....	2-63
表 3.3-1 不同鐵公路設施型式面臨極端天氣/氣候事件之衝擊分析表	3-13
表 4.3-1 機場空側與路側設施.....	4-5
表 4.3-2 商港海域與路域設施.....	4-6
表 4.5-1 調適策略架構調整前後對照表.....	4-10
表 4.5-2 調適措施 (策略) 調整前後對照表.....	4-13
表 4.6-1 運輸系統氣候變遷調適策略與措施綜理表.....	4-36
表 5.1-1 平台規格建議.....	5-9
表 5.2-1 鐵道系統成果圖資.....	5-13
表 5.2-2 公路系統成果圖資.....	5-14
表 5.2-3 移轉說明會各機關 (構) 意見與回覆.....	5-16
表 5.2-4 評估指標資料庫之更新頻率建議.....	5-16
表 5.2-5 移轉說明會高鐵公司意見與回覆.....	5-17
表 5.2-6 維運費用細部估算.....	5-17
表 5.3-1 各單位方案選擇評估方向.....	5-18
表 5.3-2 各機關 (構) 選擇之風險資訊移轉方案與意見.....	5-19
表 5.4-1 相關連結清單.....	5-22
表 5.4-2 定期稽核表.....	5-25
表 5.4-3 paros 檢測結果.....	5-26
表 5.4-4 系統效率檢測清單.....	5-27
表 5.4-5 JMeter 平台整體壓力測試結果.....	5-28
表 6.1-1 各鐵公路設施管理機關 (構) 選擇之風險資訊移轉方案一覽表..	6-6

第一章 緒論

1.1 計畫背景與目的

1. 計畫背景

運輸系統為國家重要維生基礎設施，伴隨氣候變遷衝擊及極端天氣事件發生頻率增加，設施受損與營運中斷的風險亦隨之提高。為提升並健全臺灣面對氣候變遷的調適能力，我國於民國 104 年 7 月公布施行《溫室氣體減量及管理法》^[1]（以下簡稱《溫管法》），其中第 9 條第 1 項規定中央主管機關應擬訂國家因應氣候變遷行動綱領。

依據上述規定，行政院於民國 106 年核定環境保護署（以下簡稱環保署）提報之《國家因應氣候變遷行動綱領》^[2]，中央有關機關為依循《國家因應氣候變遷行動綱領》續行推動各領域之調適行動方案及相關工作，乃提出《國家氣候變遷調適行動方案（107-111 年）》^[3]，於民國 108 年經行政院核定。

此外，《溫管法》第 13 條明定中央目的事業主管機關應研議調適策略，並配合每年提送調適成果。前揭事項涉及不同運輸設施權責機關（構），係屬部層級之施政策略方向，爰需對於整體運輸系統有上位政策之探討。

交通部運輸研究所（以下簡稱本所）自民國 106 年起開始辦理調適策略之研究。106 年度計畫「鐵公路氣候變遷調適行動方案之研究」^[4]完成鐵公路系統調適行動方案研議，提供鐵公路設施管理機關（構）做為研提調適行動方案之參考；107 年度計畫「運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫」^[5]以 106 年度計畫成果為基礎，回顧國內外海空運輸系統及國外跨運輸系統之調適策略，辨識國內運輸系統之調適課題，以「提升衝擊耐受力」、「強化預警應變力」、「提高工程回復力」及「增進決策支援力」四大構面，歸納建議整體運輸系統的調適策略共 15 項；108 年度計畫「運輸系統調適策略研究」^[6]，係因應國際調適趨勢、設施管理機關（構）之調適方向及新科技可提供之調適輔助，滾動檢討策略內容。

為持續與國際調適趨勢接軌，並積極應用新科技強化運輸系統之調適能力，需持續滾動檢討運輸系統調適策略並提供鐵公路設施管理機關（構）應用新科技於調適之建議；此外，為強化鐵公路管理機關（構）之氣候變遷風

險評估工作，以調適系列研究建置之「鐵公路氣候變遷調適資訊平台」為基礎，透過機關（構）溝通及訪談，研擬該平台及風險資訊之最佳應用移轉方式。同時，為深化設施管理機關（構）人員對調適的認識，有必要辦理調適專業知識教育訓練。基於上述需要，爰辦理本計畫。

2. 計畫目的

依據上述背景，辦理本計畫之主要目的如下：

- (1) 配合《溫管法》規定，滾動檢討並提出我國運輸系統在氣候變遷下之新版調適策略，提供設施管理機關（構）進一步研提具體調適計畫之方向。
- (2) 維運「鐵公路氣候變遷調適資訊平台」，並與鐵公路管理機關（構）溝通風險資訊之最佳應用移轉方式，以強化鐵公路系統風險評估作業。
- (3) 蒐集國內外鐵公路系統因應極端天氣事件提升調適能力之新科技運用趨勢，並研提國內應用之建議。
- (4) 辦理教育訓練提升運輸系統設施管理機關（構）人員的氣候變遷調適專業知識。

1.2 計畫工作項目

本計畫完成之工作項目說明如下：

1. 滾動檢討我國運輸系統調適策略

- (1) 蒐集與分析目前國外最新調適策略及調適措施發展趨勢。
- (2) 依據本所前期相關研究成果，參考國外最新調適發展趨勢並檢討交通部所屬設施權責機關（構）現行調適作為，滾動檢討調適策略，提出我國最新運輸系統調適策略。

2. 鐵公路系統因應極端天氣事件之新科技運用趨勢

- (1) 蒐集國內外鐵公路系統因應極端天氣事件強化調適能力之新科技運用趨勢。
- (2) 分析調適新科技於國內應用之可能性，並提出應用之建議。

3. 召開專家學者座談會

- (1) 為更完善本計畫研擬之運輸系統調適策略，於民國 109 年 9 月 29 日辦理「運輸系統調適策略」專家學者座談會 1 場。該座談會邀請策略研擬、鐵路、公路、海運與空運領域專家學者交流指導，依據座談會蒐集之建議，調整運輸系統調適策略。
- (2) 分別於民國 109 年 10 月 27 日與 11 月 3 日辦理「極端氣候下鐵公路系統強化調適能力新科技運用」專家學者座談會，鐵路及公路各 1 場次。座談會邀請熟悉數位科技應用於調適計畫的專家學者交流指導，依據座談會蒐集之建議，調整國內應用新科技強化鐵公路系統調適能力的建議。

4. 辦理調適專業知識教育訓練

為深化運輸系統設施管理機關（構）對調適之認識，分別於 109 年 6 月 18 日、8 月 13 日及 11 月 11 日辦理共 3 場調適專業知識教育訓練。第 1 場以「氣候變遷的衝擊與科學研究現況」為主題，針對氣候變遷的科學研究現況與 IPCC AR6 的進度、臺灣氣候變遷環境、氣候變遷對運輸系統的衝擊與調適作為進行教授與綜合討論；第 2 場以「鐵公路氣候變遷調適與科技輔助應用」為主題，針對鐵公路於氣候變遷環境下所應用之新科技與其效益進行說明與討論；第 3 場則以「海空運系統面對氣候變遷之風險管理與資訊應用」，介紹國內海空運系統可應用於調適的氣候變遷資料與調適資訊及航空公司面對氣候變遷下的營運因應。

以問卷蒐集學員對教育訓練之感想與建議，做為後續教育訓練辦理建議之基礎。

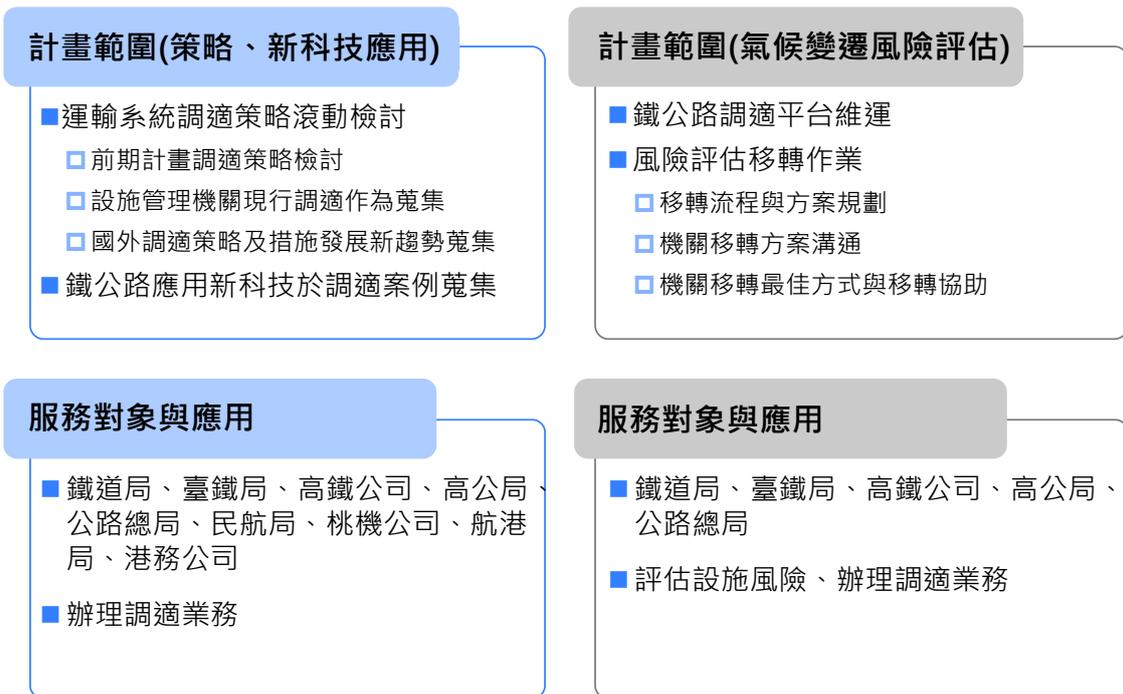
5. 「鐵公路氣候變遷調適資訊平台」之維護及風險資訊之應用移轉作業

- (1) 鐵公路氣候變遷調適資訊平台之維護。
- (2) 與鐵公路設施管理機關（構）溝通與訪談，針對平台之氣候變遷風險資訊納入各機關（構）既有系統或其他使用方式，提出最佳應用移轉方式。

1.3 計畫範圍與對象

依本計畫工作項目，計畫範圍分為：(1) 運輸系統調適策略，其係延續前期系列研究之設定，包含鐵公路、商港與國際機場，調適策略可供運輸系統管理機關(構)做為辦理調適業務之參考；(2)「鐵公路氣候變遷調適資訊平台」之維運及風險資訊應用移轉之範疇，平台及資料係針對重要鐵公路系統(省道、快速公路、高速公路、高鐵、臺鐵主線等)，風險評估資訊可做為鐵公路設施管理機關(構)評估與管理設施風險與辦理調適業務之參考。本風險資訊以縱觀、大尺度之未來氣候情境風險評估為目的，採用長期靜態資料，更新頻率為1年1次，非即時資料更新，適用於規劃設計階段之工程選線或是既有路線營運之未來情境風險參照，研擬改善計畫等。

本計畫之計畫範圍與服務對象參見圖 1.3.1 所示。



資料來源：本計畫繪製。

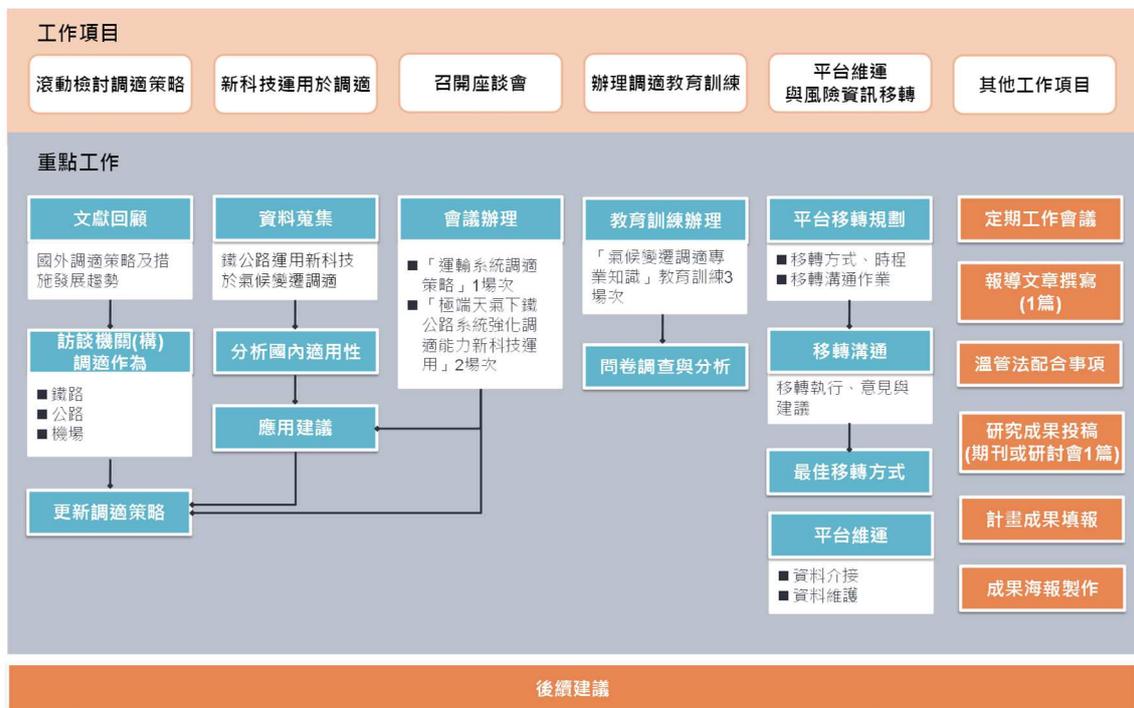
圖 1.3.1 計畫範圍與資訊服務對象

1.4 計畫工作流程

本計畫的工作項目包含：(1) 滾動檢討我國運輸系統調適策略、(2) 蒐集與分析國內外鐵公路系統因應極端天氣事件之新科技應用趨勢、(3) 召開專家學者座談會、(4) 辦理調適專業知識教育訓練、(5) 辦理「鐵公路氣候變遷調適資訊平台」維運及風險資訊之應用移轉作業、(6) 其他工作項目等。

期中階段完成文獻回顧、國外調適之發展趨勢蒐集，初步滾動檢討運輸系統調適策略，此外，完成鐵公路應用新科技於調適之案例蒐集並瞭解機關（構）可應用性，並以新科技蒐整回顧之啟發撰寫報導文章；同時，與鐵公路設施管理機關（構）溝通風險資訊移轉。

期末階段完成運輸系統調適策略的滾動檢討與國內鐵公路應用新科技於調適之可能性分析，提出應用建議，並辦理專家學者座談會蒐集有關調適策略及國內鐵公路系統應用新科技於調適之意見，以強化調適策略與新科技應用之建議；同時，完成風險資訊移轉應用，並辦理氣候變遷調適專業知識教育訓練；最後，彙整研究成果投稿發表。此外，於計畫期間配合辦理《溫管法》第 13 條與施行細則 11 條等相關規定之事項。計畫工作流程如圖 1.4.1。



資料來源：本計畫繪製。

圖 1.4.1 計畫工作流程

1.5 報告名詞與定義

為使本報告利於閱讀，且聚焦於氣候變遷調適上，以下針對報告之重要名詞進行定義與說明。名詞之定義來自「政府間氣候變化專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）」於 2014 年出版之第五次評估報告（the IPCC's Fifth Assessment Report, AR5）^[7]與《溫管法》第 3 條之用詞定義。

1. 氣候（Climate）

平均天氣狀態，或在更嚴格意義上，則被定義為對某個時期（從幾個月到幾千年乃至幾百萬年不等）相關變數的均值和變率進行統計描述。根據世界氣象組織的規定，求出這些變數均值的時間長度一般為 30 年。相關變數通常指地表變數，如溫度、降雨和風。廣義上的氣候是指氣候系統的狀態，包括其統計學意義上的描述（the IPCC's Fifth Assessment Report, AR5）。

2. 氣候變遷（Climate change）

指氣候狀態的變化，這種變化可根據氣候特徵的均值和/或變率的變化進行識別（如採用統計檢驗方法），且這種變化會持續一段時間，通常為幾十年或更長時間。氣候變遷可能由自然的內部過程或外部強迫造成，如太陽活動週期的改變、火山噴發以及人類活動對大氣成分或土地利用的持續改變等（the IPCC's Fifth Assessment Report, AR5）。

3. 極端天氣事件（Extreme weather events）

在特定地區和年度內某個時間發生的罕見事件。罕見的定義有多種，但極端天氣事件的罕見程度一般相當於觀測資料估計的概率密度函數的第 10 或第 90 個百分位數。極端天氣特徵會因地區不同而異。當某種類型的極端天氣持續一定的時間，如一個季節，它可被歸類為一個極端天氣事件，尤其是如果該事件產生的平均值或總量達到了極端狀態（如：持續一個季節的乾旱或強降雨）。（the IPCC's Fifth Assessment Report, AR5）。

4. 氣候變遷調適 (Climate change adaptation)

指人類系統，對實際或預期氣候變遷衝擊或其影響之調整，以緩和因氣候變遷所造成之傷害，或利用其有利之情勢。調適包括預防性及反應性調適、私人和公共調適、自主性與規劃性調適等。(《溫管法》第3條)

5. 危害度 (Hazard)

係指可能發生的自然或人為物理事件、趨勢或物理影響，並可造成生命損失、傷害或其它健康影響以及可能造成財產、基礎設施、生計、服務提供、生態系統以及環境資源的損害和損失 (the IPCC's Fifth Assessment Report, AR5)。

6. 暴露度 (Exposure)

人員、生計、物種或生態系統、環境功能、服務，資源、基礎設施或經濟、社會或文化資產處在有可能受到不利影響的區域之程度 (the IPCC's Fifth Assessment Report, AR5)。

7. 脆弱度 (Vulnerability)

易受負面影響的傾向或習性。脆弱度包括各類概念和因素，如對傷害敏感或易受傷害、缺乏應對和適應的能力 (the IPCC's Fifth Assessment Report, AR5)。

8. 調適能力 (Adaptive capacity)

指某個系統、組織、人類及其他生物針對潛在的損害、機會或後果進行調整、利用和應對的能力 (the IPCC's Fifth Assessment Report, AR5)。

9. 風險 (Risk)

風險通常用於指那些對生命、生活、健康、生態系統和物種、經濟、社會和文化資產、服務 (包括環境服務) 和基礎設施有負面後果，且結果不確定的可能性 (the IPCC's Fifth Assessment Report, AR5)。

10. 風險管理 (Risk management)

透過計畫、行動與政策降低風險的可能性與不確定性或回應後果 (the IPCC's Fifth Assessment Report, AR5)。

11. 韌性 (Resilience)

某社會、經濟和環境系統處理災害性事件、趨勢或擾動，並在回應或重組的同時保持其必要功能、定位及結構，並保持其適應、學習和改造等的能力 (the IPCC's Fifth Assessment Report, AR5)。

第二章 文獻回顧

本章內容分為 7 節：2.1 節概述氣候變遷對運輸系統之衝擊；2.2 節說明前期計畫與鐵公路氣候變遷調適資訊平台之成果；2.3 節彙整國際近期的氣候變遷調適策略趨勢；2.4 節蒐集近期研究運輸系統氣候變遷衝擊評估作業之文獻；2.5 節整理鐵公路系統的調適新趨勢與作為；2.6 節則針對近期海空運系統的調適計畫研擬流程進行回顧；最後，於 2.7 節歸納本章重點及運輸系統調適策略滾動檢討可借鏡處。

2.1 氣候變遷對運輸系統之衝擊概述

1. 公路

公路系統支援重要社會經濟、維生、醫療等活動之運輸服務，隨著氣候變遷及極端天氣事件的頻率增加，公路系統面臨的氣候風險逐漸升高。道路設計標準如係依據某一範圍的氣候狀態加以訂定，當氣候狀態超出範圍時，道路系統將面臨衝擊。回復道路功能所需的成本，或為因應後續衝擊而提高道路設計標準及改建的費用都是重大的支出。

依據《國家氣候變遷調適政策綱領》^[8]，我國較易受氣候變遷影響之山區公路建設多沿河谷開鑿構築，在暴雨作用下，容易受到邊坡滑動崩塌的威脅；亦常因河谷沖蝕加劇而危及道路路基，中斷公路系統；若河川上游發生洪水、土石流等，則沖刷裸露基礎之橋梁；下游橋梁之橋墩、橋面也易遭洪水、土石流沖毀或掩埋；如降雨量超過排水設計，則會面臨道路淹水的問題；而高溫引發的熱空氣與高水溫容易腐蝕橋墩，也會造成公路鋪面軟化與損壞。



- 資料來源：1. 字媒體，阿里山公路坍方管制中 預計傍晚恢復雙向通車，
<https://zi.media/@newtalktw/post/tnkd4I>，民國 107 年 5 月。
2. 中時新聞網，桃機地下道積水 交通大亂 B2 美食街也淹水，
<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20160602003071-260405?chdtv>，
民國 105 年 6 月。

圖 2.1.1 氣候變遷對公路的影響

2. 鐵路

高溫、海平面上升、強降雨、颱風氣旋等劇烈天氣現象發生頻率與強度的提高，將對鐵路營運帶來衝擊。

以臺鐵系統而言，氣候變遷將可能造成下列影響：(1) 溫度上升、熱脹效應致軌道擠壓變形、挫屈，影響列車行車安全、(2) 強降雨引發的坡地災害、淹水潛勢與風險增加、(3) 強降雨造成軌道或隧道淹水、(4) 強降雨造成邊坡或隧道落石、坍方、(5) 路基、橋梁因地表逕流沖蝕、洪水沖刷受損、(6) 車站或其聯外道路因強降雨淹水或受坡災衝擊、(7) 架空電車線因高溫、強風受損、(8) 列車因強降雨、強風而無法正常行駛、(9) 臨海系統設施因海平面上升而淹沒。

高鐵系統則可能面臨：(1) 強降雨引發的坡地災害、淹水潛勢與風險增加、(2) 路基、橋梁因地表逕流沖蝕、洪水沖刷受損、(3) 車站或其聯外道路因強降雨淹水或受坡災衝擊、(4) 架空電車線因高溫、強風受損、(5) 列車因強降雨、強風而無法正常行駛、(6) 臨海系統設施因海平面上升而淹沒。



- 資料來源：1. 更生日報，是否高溫鐵軌變形肇事 待鑑定調查，
<http://www.ksnews.com.tw/index.php/news/detail/0000847207>，民國 105 年 6 月。
2. 自由時報，水淹軌道漸退！鳳山火車站西正線已通車、東線減速慢行，
<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/2528444>，民國 107 年 8 月。

圖 2.1.2 氣候變遷對鐵路的影響

3. 空運

氣候變遷對空運系統可能造成的影響包括：(1) 陸側設施及客貨運業務因淹水、強風、雨水或暴潮沖刷及衝擊而受損或無法作業、(2) 航機因強降雨、跑道積淹水、強風、高溫而無法正常起降、(3) 航機因強降雨、強風而損壞、(4) 機場聯外道路因強降雨淹水或落石、坍方、(5) 臨海設施因暴潮沖刷及衝擊受損。

根據「臺灣氣候變遷科學報告 2017」^[9]，全球暖化會導致 21 世紀末颱風發生頻率減少但強度增加，降雨強度亦呈現增加的趨勢（平均增加 20%-40%），上述的變化意味著航空運輸系統將受到更強烈的衝擊。



- 資料來源：1. 聯合影音網，桃機昨水災驚魂 運將：路人走在國道上推行李，
<https://video.udn.com/news/501740>，民國 105 年 6 月。2. 台灣大紀元，強風釀禍 桃機空橋應聲斷裂，
<http://www.epochtimes.com.tw/n35660/%E5%BC%B7%E9%A2%A8%E9%87%80%E7%A6%8D-%E6%A1%83%E6%A9%9F%E7%A9%BA%E6%A9%8B%E6%87%89%E8%81%B2%E6%96%B7%E8%A3%82-.html>，民國 101 年 8 月。

圖 2.1.3 氣候變遷對機場的影響

4. 海運

氣候變遷對商港產生的衝擊包含多種面向，強降雨會導致聯外功能受損，造成交通受阻；強風則影響設備操作、航班停駛、設施設備損壞；海平面上升或暴潮會導致港區設備損毀淹沒、碼頭受損、船舶無法靠泊作業等影響。

就我國歷史天氣事件，港口主要常因颱風來襲，造成暴潮、強風、強降雨等情形，迫使航班停航及造成碼頭與設備損壞及聯外道路淹水中斷營運。



- 資料來源：1. 聯合影音網，莫蘭蒂過後 高雄港災損慘重，
<https://video.udn.com/news/560690>，民國 105 年 9 月。
2. 蘋果即時，天文大潮加颱風 澎湖少見水淹碼頭，
<https://tw.appledaily.com/life/20150928/UVPJAHGDLGZONX5LCE66BQYPA/>，民國 104 年 9 月。

圖 2.1.4 氣候變遷對商港的影響

5. 小結

在氣候變遷的環境之下，極端天氣事件發生的頻率將更頻繁，事件的時間可能拉長、縮短與驟變，事件的強度也可能增加或加速，如強降雨、強風與高溫的強度增加以及海平面上升的速度加速。

2.2 前期計畫與調適資訊平台成果

為因應氣候變遷對運輸系統之衝擊，本所於民國 107 年辦理「運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫」，該計畫滾動檢討鐵公路氣候變遷調適行動方案內容，且依據《溫管法》第 13 條第 1 項要求，研擬海、空運系統的調適策略，建構完整的運輸系統氣候變遷調適策略。

承上，本所接續於民國 108 年辦理「運輸系統調適策略研究」，持續蒐集國際氣候變遷調適趨勢並掌握國內運輸設施管理機關（構）調適需求以滾動檢討調適策略；同時，為輔助鐵公路設施管理機關（構）掌握其設施風險，持續更新風險地圖並強化鐵公路氣候變遷調適資訊平台；此外，基於深化設施管理機關（構）人員之調適知識及對前揭資訊平台熟悉度之需要，辦理調適知識推廣工作。以下摘述 108 年研究成果：

1. 運輸部門調適策略滾動檢討

108 年度計畫以 107 年「運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫」研提之調適策略為基礎，綜理國際趨勢、新科技應用於調適之方向、國內運輸設施管理機關（構）當前之調適作為及建議事項等，滾動檢討調適策略。

該計畫將調適策略構面調整為：（一）提升衝擊耐受力、（二）強化預警應變力、（三）提高系統回復力以及（四）增進決策支援力等四大構面，總計提出 8 項調適課題及 15 項調適策略，並依據策略內容建議辦理單位與辦理期程。調適課題及策略如表 2.2-1 所示。

表 2.2-1 運輸系統氣候變遷調適策略一覽表 (108 年研究成果)

構面	課題	策略	類別	屬性	執行單位	期程
提升衝擊耐受力	如何提升運輸系統在氣候變遷下的衝擊耐受力?	1 於新建與改建時迴避高災害潛勢地區並考量周邊環境關係 (同時適用軟、硬體設施)	設施建設	個別系統	設施管理機關 (構)、環境相關部會	持續性
		2 檢討並將氣候變遷情境納入規劃、設計、施工以及養護相關規範	設施建設	個別系統	交通部法規委員會、設施管理機關 (構)	短、中期
		3 運用或研發有助提升系統耐受力的材料、工程與設備	設施建設	個別系統	設施管理機關 (構)、交通部	持續性
		4 檢討並調整巡檢制度與風險監測密度	營運管理	個別系統	設施管理機關 (構)、氣象局	持續性
		5 強化跨運輸系統介面及重要維生基礎設施聯外/聯絡道路衝擊耐受力	設施建設	介面整合	設施管理機關 (構)、縣市政府	中、長期
強化預警應變力	<ul style="list-style-type: none"> ■ 如何提升天氣事件致災的預警精度與速度? ■ 如何加強運輸系統間的聯防與資源共享，加強應變效率? 	6 運用或研發有助提升預警精度與速度的科技與設備	營運管理	個別系統	設施管理機關、交通部	中、長期
		7 建立運輸系統設施的備援方案	營運管理	介面整合	設施管理機關 (構)、運輸業者	短、中期
提高系統回復力	<ul style="list-style-type: none"> ■ 如何提高系統於天氣事件衝擊後的回復力? 	8 運用或研發有助提升復建效率的科技、工法與材料	設施建設	個別系統	設施管理機關 (構)、交通部	持續性
		9 建立分階段復建原則	設施建設	整體部門	設施管理機關 (構)	中、長期

表 2.2-1 運輸系統氣候變遷調適策略綜理表（108 年研究成果）（續）

構面	課題	策略	類別	屬性	執行單位	期程	
增進決策支援力	<ul style="list-style-type: none"> ■ 如何評估風險及決策計畫投資？ ■ 如何提供風險評估及計畫投資決策所需資料？ ■ 如何提供調適所需專業人力？ ■ 如何強化跨域協調與跨單位合作？ 	10	建立設施安全性與風險評估方法並定期評估	營運管理	個別系統	設施管理機關（構）	持續性
		11	建立氣候變遷調適計畫投資決策評估方法	營運管理	整體部門	交通部	短、中期
		12	建置與持續更新與強化風險管理所需資料庫及支援系統工具	營運管理	介面整合	設施管理機關（構）、交通部	持續性
		13	建立氣候變遷風險管理與調適專業組織及培育人才	營運管理	整體部門	設施管理機關（構）、考試院	持續性
		14	建立氣候變遷調適跨域整合推動平台與機制，加強資訊共享	營運管理	介面整合	設施管理機關（構）、環保署、交通部、縣市政府、相關部會	持續性
		15	針對利害關係人進行氣候變遷風險溝通	營運管理	介面整合	設施管理機關（構）	持續性

資料來源：交通部運輸研究所，運輸系統調適策略研究，民國 109 年。

2. 鐵公路因應氣候變遷之調適新科技應用

藉由回顧國家科技發展政策掌握未來國內調適領域應用新科技的機會，並廣泛蒐集國內各領域應用新科技因應強降雨及坡災之案例供運輸系統管理機關（構）參考，同時蒐集國外鐵公路系統因應氣候變遷之調適新科技應用案例，分析其優缺點，並提出國內應用之建議，如表 2.2-2、2.2-3 所示。

表 2.2-2 鐵路調適新科技應用之優缺點與國內適用性

技術	優點	缺點	成熟度	國內適用性
感測器+物聯網 (Internet of Things, IoT) (TrackWater)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 隨時掌握排水設施狀況 ▪ 針對可能淹水之點位分派養護人力 ▪ 效率化分配養護人力,降低人員工作風險 ▪ 感測器易安裝 ▪ 減少因淹水而造成的列車延遲 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 軌道設施電量的限制(以太陽能發電為主) ▪ 資料傳遞網絡需重新設定(混合使用特高頻(Ultra High Frequency, UHF)、長距離(Long Range, LoRa)與 Xbee)¹ 	於英國梅爾頓莫布雷測試與調整為鐵路適用之規格，後續將持續優化並導入到其他鐵路	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 應用感測器與 IoT 監測排水系統與分析可能淹水的點位，進行人力分配，提高維護效率 ▪ 從反應式維護改為預防式維護
3D 掃描+IoT (軌道掃描與監測)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 隨時掌握軌道狀態,避免故障 ▪ 更效率化分配養護人力,降低養護人員的工作風險 	可能因軌道油漬或髒汙而出現軌道掃描錯誤判斷的情況	已成熟，澳洲應用於多條軌道系統上	國內許多軌道巡檢作業主要依賴人工，可思考利用監控與掃描儀器，確保軌道壓力與狀態正常
鐵軌塗層	有塗層的軌道溫度與無塗層的溫度差別為攝氏 5-6 度(5 月)，紀錄的最高差異為 10 度(6 月)	塗層的耐久性尚待觀察	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 實地於美國曼維爾的軌道測試 ▪ 英國將部分高挫屈風險軌條塗層，使其減少吸熱與延展 	可挑選歷史挫屈軌道路段測試與觀察

資料來源：交通部運輸研究所，運輸系統調適策略研究，民國 109 年。

¹ 因 LoRa 的基地台不足有發展上的限制，為達到 IoT 與 AI 的效果，目前全世界已逐步採用窄頻無聯網(Narrowband Internet of Things, NB-IoT) 技術，因其可與 4G 基地台通用及具有 VPN 通道。

表 2.2-3 公路調適新科技應用之優缺點與國內適用性

技術	優點	缺點	成熟度	國內適用性
氣候反應式旅行資訊系統 (WxTINFO)	包含歷史、模擬與即時數據，提供鐵公路受天氣事件影響的預警，並納入道路資訊，提供替代路線	需整合多方資料	已被密西根交通中心用於天氣事件時的交通管理，降低延遲的成本，後續將持續精進系統，為已成熟的技術	可逐步建立國內適用的氣候反應式旅行資訊系統，降低天氣事件影響的風險
感測器+IoT (淹水預警)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 感測器可記錄並預測淹水，提前將淹水預測發佈給可能受影響之機關與地區 ▪ 可與導航平台合作，將受氣候影響的道路傳送給後台，提供用路者提醒與改道的資訊 	需整合多方資料	於漢普頓應用，且將資料與導航 App 合作，即時通知用路者，具有一定的成熟度	可挑選環境較嚴峻之道路進行測試，記錄適用性並評估未來使用的可能性
自我修復瀝青	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 延長道路使用年限 ▪ 降低養護費用 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 建置成本較瀝青鋪面高 ▪ 目前尚以小規模的方式測試中 	荷蘭於 2010 年開始於 12 條公路上測試，目前狀態良好，具有一定的成熟度	可挑選環境較嚴峻之道路進行測試，記錄適用性並評估未來使用的可能性
塑膠瀝青/塑膠公路	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 強度較一般瀝青高，可承受大範圍的氣溫變化 ▪ 維護成本與建置成本低 ▪ 塑膠回收再利用 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 製程中產生有機氣體 ▪ 鋪設時可能產生氯化氫 ▪ 雨水可能會將塑膠粒子融出，滲濾到土壤 	英國與荷蘭皆投入預算進行示範計畫，具有一定的成熟度	因臺灣屬於亞熱帶氣候，夏季高溫多雨，路面長期處於多雨且潮濕之環境，較容易有滲濾的疑慮

資料來源：交通部運輸研究所，運輸系統調適策略研究，民國 109 年。

3. 鐵公路風險地圖更新

鐵公路風險地圖之更新，除了危害度指標使用之水災及坡災潛勢圖沿用 106 年資料外，其餘資料皆依資料來源更新（皆為民國 107 年資料，除基礎底圖、設施形式與替代道路數為民國 108 年資料、產值為民國 105 年資料）。

4. 「鐵公路氣候變遷調適資訊平台」成果

「鐵公路氣候變遷調適資訊平台」設有調適知識文件與風險地圖資訊查詢功能，計有調適知識庫、風險評估專區、地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）查詢、規範與工具、相關連結等 5 大模組（圖 2.2.3）。該年度成果為平台功能強化及常態性維護管理，並本於風險評估應由設施管理機關（構）辦理，研擬移轉作業並與機關（構）溝通。



資料來源：鐵公路氣候變遷調適資訊平台畫面截圖。

圖 2.2.1 鐵公路氣候變遷調適資訊平台介面

(1) 平台功能強化

① 調適知識庫更新

將計畫研究成果，分別納入調適知識庫之政策資訊、地方資訊、交通調適資訊、報告書下載以及規範與工具等項目。

② 相關連結更新

彙整所蒐集之國內外調適網站資訊，發佈於平台「相關連結」頁面之中，提供鐵公路設施管理機關（構）參考。

③ 介接 RSS API 更新

因應平台介接使用 query.yahooapis.com 的 Yahoo API 服務已於民國 108 年 1 月終止服務，改用 C#.net3.5 版本原生 XML 套件介接「調適新聞」與「即時事件」。

④ 介接 TGOS MAP API 更新

TGOS 地圖 API 因交通路網數值圖與通用版電子地圖整合，調適資訊平台需進行介接程式調整，為避免圖資重覆顯示，修正介接程式。

(2) 平台維運

① 介接維護

連結納入 uptimerobot，確保連線中斷時可主動發現與調整。

② 資安檢測

採用 paros 做為弱點掃描的工具，經由 paros 檢測出來的結果，高風險與低風險均為 0。

③ 效能檢測

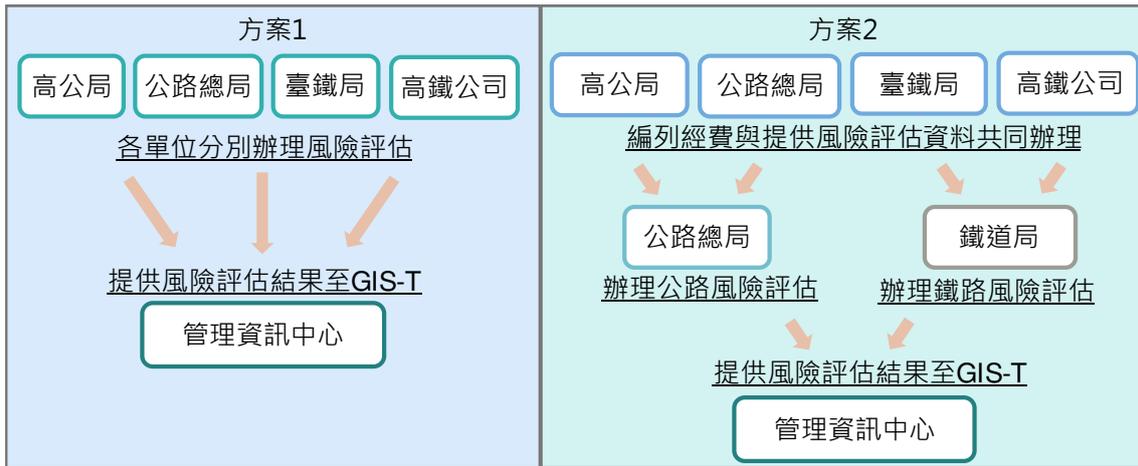
採用 google 提供的開發者工具檢測效能，測試結果顯示資料量較少的頁面如調適知識庫、風險評估專區等，回應秒數多在 1.2 秒內。

④ 壓力檢測

採用 JMeter 做為伺服器端效能與壓力測試的工具，測試出來的結果顯示系統在 10 分鐘內乘載 100 人並無超過負荷，皆在穩定範圍。

(3) 平台移轉溝通

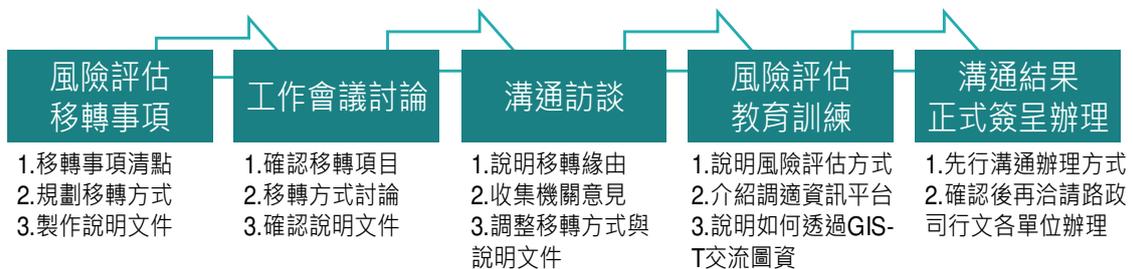
針對如何將風險評估移轉至各設施管理機關（構）辦理規劃與溝通作業，該計畫規劃完善的風險評估移轉作業，移轉方式如圖 2.2.4 所示。



資料來源：交通部運輸研究所，運輸系統調適策略研究，民國 109 年。

圖 2.2.2 風險評估辦理方式方案

依機關（構）訪談與溝通結果，考量統籌辦理較難符合各機關（構）客製與特殊需求，且資料詮釋與定義各機關（構）可能有所差異，故建議後續規劃將鐵公路相關風險資訊移由相關機關（構）納入其既有系統辦理，提供基礎風險地圖產製方式與資料定義供各機關（構）參考，再由各機關/單位針對其業務屬性分析需求，與各機關（構）既有平台與資料之關聯後進行細部檢視及加值。移轉溝通流程規劃如圖 2.2.5 所示。



資料來源：交通部運輸研究所，運輸系統調適策略研究，民國 109 年。

圖 2.2.3 風險評估移轉溝通作業流程

2.3 國際氣候變遷調適策略趨勢

為接軌國際氣候變遷調適理念及潮流，本節摘述 2019 年於智利辦理的 COP25 所揭示的調適重點及回顧 2019 年發布的了全球第一項針對氣候變遷調適的標準：ISO 14090 氣候變遷調適—原則、規定與指導架構 (Adaptation to Climate Change—Principles, Requirements and Guidelines)，勾勒當前全球氣候變遷調適策略之趨勢。

1. COP25 揭示的調適策略重點

締約國大會 (Conference of the Parties, COP) 為聯合國氣候變化綱要公約 (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) 的最高決策機構。自 1995 年於德國柏林召開第 1 次大會後，爾後每年均召開大會，最主要的目的係在確保締約國的碳排放量，以減緩氣候變遷。

早期的大會著重於減少碳排放量的方式，包含產業轉型、能源來源改變，行為調整以及科技應用等方法。直至第 21 屆大會 (COP21)，調適議題開始備受各國重視。

COP21 指出包含運輸、都市環境、森林、農業、食物、供應鏈以及氣象等各部門均面臨氣候變遷衝擊的課題，需積極調適。過去的努力將重心放在「減排」，COP21 則提高了對調適行動的關注，尤其是建構調適能力、降低脆弱度以及加強已開發國家協助開發中國家擬定與執行調適策略等。

於 COP21 通過《巴黎協定》^[10] 做為 2020 年後規範全球溫室氣體排放與因應氣候變遷調適之重要國際協定。「巴黎協定」共 29 條條文，其中第 7 條提出「各締約國應建立調適能力、強化回復力與降低脆弱度，達到調適之目標」；第 8 條指出「各國應加強對氣候變遷損害的瞭解」；第 9 條說明「財務額度分配應以平衡減緩與調適相關財務資金為目標」；而第 11 條則將國際技術援助範圍擴大到調適行動。「巴黎協定」重要條文如表 2.3-1。

表 2.3-1 「巴黎協定」重要條文

條文	內容
第 2 條 (溫升控制)	維持本世紀全球溫升低於 2°C 並努力限制溫升低於 1.5°C (相較工業革命前)
第 3 條 (NDC)	締約國應努力執行 NDC ² 並逐年進展
第 4 條 (NDC)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 締約國應儘速達到溫室氣體排放峰值 (peak) ■ 締約國應依據共同但責任差異原則，提出更積極的 NDC 目標 ■ 已開發國家應達到絕對減量，開發中國家應持續加強減緩的努力 ■ NDC 應該每 5 年查驗其成效
第 7 條 (調適)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 締約國應建立調適能力、強化回復力與降低脆弱度之全球調適目標 ■ 締約國應考量「坎昆調適架構」(Cancun Adaptation Framework)，加強合作
第 8 條 (降低損害)	締約國應透過「華沙損失與損害國際機制」加強對氣候變遷造成損害的瞭解、行動及支持，包括：早期警報系統、緊急應變措施、風險評估、氣候保險機制及非經濟損失等
第 9 條 (財務機制)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 已開發國家應提供開發中國家減緩與調適的財務支持 ■ 財務額度規模應逐漸擴大，且應以平衡減緩與調適之財務資金為目標 ■ 公約的財務機制應納入本協定的財務機制，提供適當資金予開發中國家與最脆弱國家，以利其依國家目標加強行動
第 11 條 (調適能力)	締約國應協助氣候脆弱國家氣候因應的能力建設，包括減緩與調適行動、技術移轉與發展、氣候財務、提供氣候認知之教育與訓練
第 13 條 (互信機制)	<p>為提高締約國間的互信，及促進有效執行減量措施，應加強締約國行動及支持系統的透明性。爰此，締約國應提供如下資訊：</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 依據 IPCC 最佳作法之國家溫室氣體盤查資料 ■ NDC 執行進展。

資料來源：United Nations Framework Convention on Climate Change, the Paris Agreement. http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php, 2016.

自 COP21 後，調適的議題在每年的會議均被提出討論，且為研擬適應洪水和乾旱等氣候變遷衝擊的方法，亦於會議期間召開調適技術專家會議 (Technical Expert Meetings on Adaptation)，討論如何擴大複製社區和生態系統的調適成功案例。

為進一步支援力圖制定和實施國家調適計畫的開發中國家，自 COP16 會議後，締約國成立調適委員會並設立國家調適計畫專案工作組 (Adaptation Committee, NAP Task Force)，其成員包括調適委員會成員和調適基金

² NDC(Nationally Determined Contributions)為各國確定執行之減碳與調適目標。

(Adaptation Fund)、綠色氣候基金 (Green Climate Fund)、全球環境基金 (Global Environment Facility)、專家組 (Least Developed Countries Expert Group)、技術執行委員會 (Technology Executive Committee) 和資金問題常設委員會 (Standing Committee on Finance) 等機構代表參加。

國家調適計畫專案工作組在調適委員會每次的會議上報告，說明前年度提出之建議事項在執行時發現的問題，協助支持符合條件的發展中國家的國家調適計畫與調適行動進行了何種項目之報告。2019 年度的報告已於 2019 年 12 月於智利舉行的 COP25 呈現。國家調適計畫專案工作組於 COP25 針對氣候調適體系下之傳播與推廣、調適資金、私部門參與等議題進行討論與報告。其中，針對公部門執行調適工作提出建議事項數端，要者如下^[11]：

- (1) 需加強調適工作力度，並增加用於調適工作上的預算。
- (2) 將國內支出預算和氣候變遷行動結合，以期在國家和國家各層級間促進國際和國內融資，爭取足夠的資金推動政府調適計畫優先事項並滿足調適工作的需求。
- (3) 建立調適工作專案生命週期並建置專案監測、評估和學習系統，使專案產出超過原先之目標。
- (4) 利用國家計畫和工具，如國家調適計畫和資訊通報工具，提出調適工作專案建議，並確定可行的調適資金來源。
- (5) 與民間和地方社區建立連結，並使用有限的資金達到更好的調適工作成果。
- (6) 鼓勵將調適和減少災害風險的方法相互結合並投入以因應風險、降低脆弱性與促進永續發展為核心目標的投資計畫。
- (7) 確保調適技術評估和調適技術行動計畫是完整且最新的，以期推動調適技術轉移和商業化。
- (8) 積極邀請私部門參與調適規劃和執行。
- (9) 利用政策工具和框架，以各種方式激勵私部門投資調適行動，包括降低調適投資風險或調整政府監管框架，使私部門能夠在必要時投資調適工作。

- (10)繼續在各締約國間增進調適資訊交流與擴大調適規模的能力，並允許複製已證明有效的調適資金籌措方案、調適計畫和策略，以增強國家調適能力，提升韌性，降低國家在氣候變遷環境下的脆弱度。
- (11)邀請締約國和相關非締約國參與活動，開發新融資工具，並與產業與協會建立夥伴關係，通過加快開發、部署和轉移調適技術來擴大調適技術解決方案的市場。
- (12)鼓勵締約國利用現有多層級氣候基金制定與實施國家調適計畫，並請私部門一同參與，以催生大規模調適作業資金，滿足最易受氣候變遷影響者的需求，並鼓勵締約國和非締約國籌措額外資金，包括來自私部門的資金。

同時，針對政府如何鼓勵私部門投入調適工作，亦提出數項重要建議：

- (1) 透過氣候變遷調適降低風險是企業利益的核心所在。政策和監管機制可激勵民間公司投資於調適工作，並可將資金用於針對弱勢群體和各部門間整合的調適工作。
- (2) 微型企業、中小企業等私部門有機會循銀行願意擔保的調適專案管道，從而使其能夠從公共和私部門獲得調適工作資金。
- (3) 私部門與公部門需共同執行有意義及包容性的利害關係人溝通作業，包括接觸婦女、青年、原住民以及貧困和弱勢群體等，以確保調適工作和韌性建設能以人為本。
- (4) 私部門加強參與國家調適規劃和行動。
- (5) 配合建立體制，以促進國家和國家以下各級決策者、管理相關部門的委員、民營企業、商業組織和私人投資者之間的溝通。
- (6) 提供私部門準確可靠的資訊、資料和調適工作建構能力，以適合具體業務和部門的方式進行溝通，支援私部門理解和闡述氣候變遷對其商業模式的影響，從而發展新的商業模式。
- (7) 考慮在教育、培訓、公眾意識方面進行投資，因為在這些領域的投資可以促進私部門(特別是發展中國家的私部門)採取廣泛的調適行動。

2. 國際氣候變遷調適標準：ISO 14090

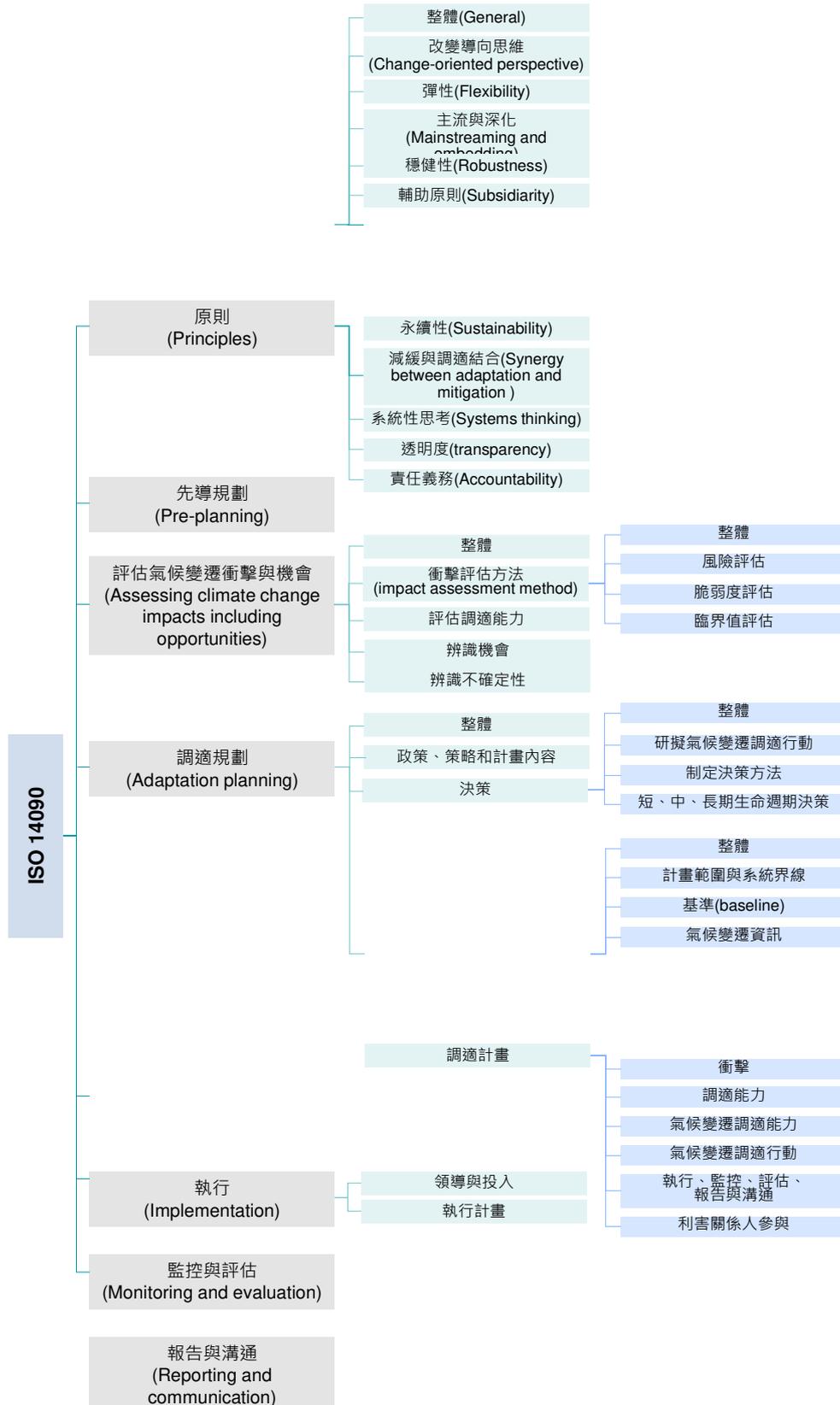
國際標準化組織（International Organization for Standardization, ISO）於 2019 年發布了全球第一項針對氣候變遷調適的標準：ISO 14090 氣候變遷調適—原則、規定與指導^[12]。

該標準是適應氣候變遷系列標準的通則性標準，同時還制訂了 ISO 14092 氣候變遷調適—地方政府與組織的調適規劃要求和指導（Adaptation to Climate Change — Requirements and Guidance on Adaptation Planning for Local Governments and Communities），且另外研擬 ISO 14091 氣候變遷調適—脆弱性，影響和風險評估指導（Adaptation to Climate Change—Guidelines on Vulnerability, Impacts and Risk Assessment），以提供進一步指導。

ISO 14090 說明如何將調適思維與措施導入組織及跨組織協作。此標準可協助組織辨識與瞭解氣候變遷的影響與不確定性並用於支援決策，除了管理風險外，也可從中利用氣候變遷所帶來的機會。

ISO 14090 最主要的目的為透過建立一致化的架構與實際的執行方法，協助組織針對其面臨的氣候變遷風險研擬具效益且可付諸行動的調適計畫，適用於設計與執行政策、策略、計畫與行動。

由於調適計畫與行動皆需備具彈性，因此，ISO 14090 的內容也具有一定的彈性，彈性係指持續回顧、回應與因應新的狀態、環境、方法與方案等，採用滾動學習與因應管理流程，以響應式的方法改善理解、決策與執行等流程，故無論是已開始進行調適的組織，或是剛決定將調適納入考量的組織均可適用。ISO 14090 的架構如圖 2.3.1。



資料來源：資料來源：the International Organization for Standardization, <https://www.iso.org/standard/68507.html>、本計畫彙整。

圖 2.3.1 ISO14090 架構示意圖

(1) ISO 14090 的調適原則

調適的 10 大原則為調適計畫的基礎，雖然原則非強制要求，但其在調適計畫的有效執行上有很高的效用，例如改變組織的思維，當組織執行氣候變遷調適時，相關的單位需準備、支持與帶動組織在思維上對調適認知的改變。改變的幅度不一，可以是些微的變動，也可以是完全的轉變。為提高調適計畫的整體效益，也需持續回顧、回應與因應新的狀態、環境、方法與方案等，以保持調適計畫的彈性。除了調適計畫外，將調適的概念主流化，融入組織的政策、計畫與流程裡，也有利整體調適效益之提升。



資料來源：the International Organization for Standardization, <https://www.iso.org/standard/68507.html>、本計畫彙整。

圖 2.3.2 ISO14090 原則

(2) ISO 14090 的調適流程

組織調適前需先導規劃 (pre-planning)，評估組織執行氣候變遷調適的能力、利害關係人以及如何與利害關係人合作等。此階段的工作包含：

- ① 訂定氣候變遷調適的領導與主管單位。
- ② 辨識所需之人力。
- ③ 訂定任務與責任。
- ④ 辨識所需之資金。
- ⑤ 辨識需要的知識、專業、數據與資料。
- ⑥ 辨識組織需做出策略決策的時間點。

組織應：

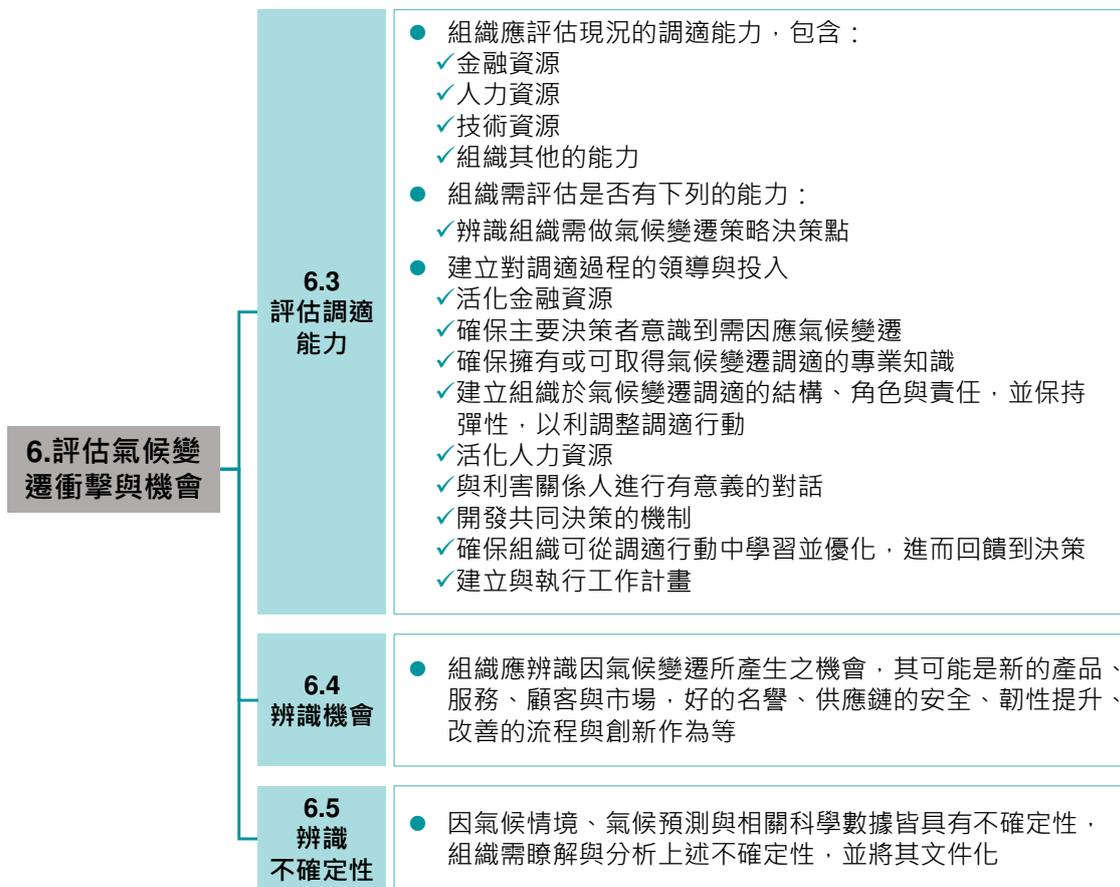
- ① 將上述評估結果文件化，包含執行能力的缺口。
- ② 建立工作計畫解決上述能力缺口。
- ③ 承諾投入工作計畫所需的人力與資金。
- ④ 辨識相關利害關係人（可能包含：組織內其他單位、供應商、組織產品與服務於銷售、分發、運送等過程中有關聯之商業活動者、股東、金融機關、技術機關、客戶與顧客、執法單位、地方、區域或國家政府機關、非營利組織、地方社區、員工、工會等）。
- ⑤ 研擬可讓利害關係人參與之計畫，以瞭解其對氣候變遷調適的需求與期望，並可從利害關係人得到相關資訊與知識，發展合作。

先導規劃後則需評估氣候變遷衝擊與機會，組織應評估其活動、產品、服務在氣候變遷環境下受到的衝擊，包含長期的影響與立即的影響。衝擊評估需具有整體性與系統性（包含直接與間接影響），評估的項目包含：

(1) 員工的健康、安全與生產力、(2) 空氣品質、(3) 資產的損壞與商業活動的干擾、(4) 海岸設施的損失、(5) 暴潮、淹水與汙染、(6) 供應鏈與分配網的干擾、(7) 生產價格的改變、(8) 生態系統服務的改變、(9) 水資源缺乏對營運的影響、(10) 農業生產的改變、(11) 政府政策與法令的衝擊、(12) 金融考量，如獎勵與懲罰性稅項、(13) 金融機關對高風險投資制定溢價的衝擊、(14) 因預期風險對融資造成的衝擊、(15) 商業機會的衝擊、(16) 顧客需求的改變等。

組織執行衝擊評估時需考量氣候因子過去與未來的趨勢，包含平均與極端的環境（溫度、降雨、濕度、海平面上升、風向與風速、凍融循環等）。

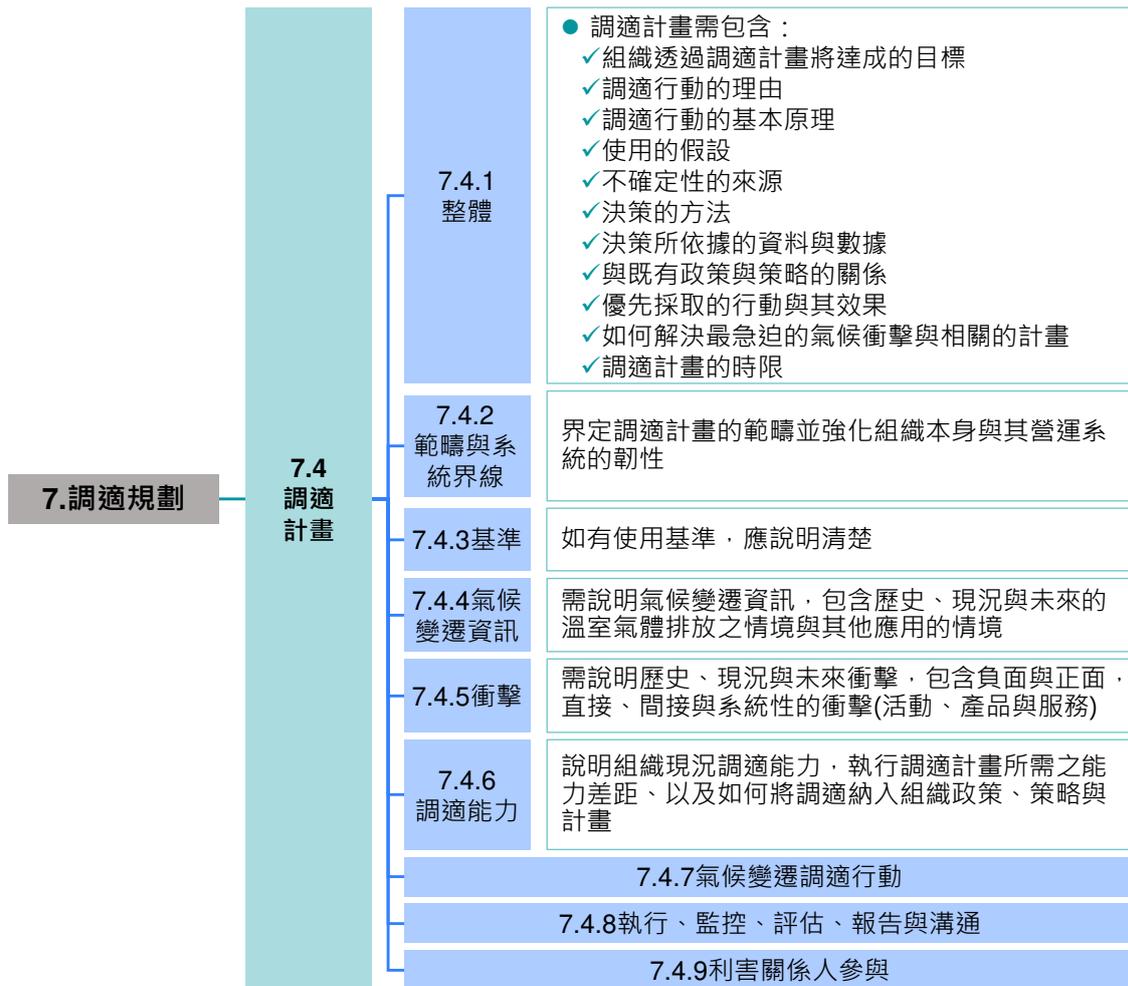
衝擊評估可依據組織的需求選擇評估方法，如風險評估、脆弱度評估與臨界值評估，評估方法有不同的評估基準與考量，評估方法如圖 2.3.3。



資料來源：the International Organization for Standardization, <https://www.iso.org/standard/68507.html>、本計畫彙整。

圖 2.3.3 ISO14090 衝擊評估方法

應用先導規劃與衝擊評估的成果研擬調適計畫，計畫內容需包含計畫的目標、範疇、使用的氣候情境假設、相關資料與數據、期程與調適能力強化等，並說明如何監控計畫執行以及與利害關係人合作等。調適計畫的規劃架構如圖 2.3.4 所示。



資料來源：the International Organization for Standardization, <https://www.iso.org/standard/68507.html>、本計畫彙整。

圖 2.3.4 ISO14090 調適計畫

規劃調適計畫後的重要工作為執行、監控與評估及報告與溝通等。如執行上需要將調適計畫實際轉化為調適行動，一個很重要的工作為監控與評估，監控調適行動的執行，並評估投入與產出、資源分配等，以確保執行的調適行動計畫可達到預期的效果，或是效果不彰的時候調整做法，以達到調適計畫所設定的目標。所執行之調適計畫也需與利害關係人溝通與分享計畫執行與計畫成果，以獲得利害關係人的支持與合作。

8.執行

- 主管應展現領導力與承諾
- 將調適計畫轉化為行動

9.監控與評估

- 監控的目的係為確保調適計畫有達到其效果，且在效果不彰時可進行調整
- 組織應研擬監控與評估計畫以管控調適行動的執行進度
- 監控與評估應包含行動、投入與產出、資源、角色、責任、流程、能力與其他面向等的評估

10.報告與溝通

- 組織可與外部利害關係人溝通，溝通的內容應滿足下列要求：
 - ✓ 確實、可證實、具相關性且不偏頗
 - ✓ 不易被誤解
 - ✓ 明確表達氣候變遷調適的範疇
 - ✓ 如調適作為未經第三方認證不可暗示其有被認證
 - ✓ 不可明示或暗示的誇大調適行動的效果
 - ✓ 重新評估或更新以反映氣候威脅的改變或機會
 - ✓ 包含不確定性的量化與值化資料
- 組織對外溝通時應提供其調適策略報告，報告應滿足下列要求：
 - ✓ 公開、完整且易讀
 - ✓ 明確說明氣候變遷衝擊與機會
 - ✓ 明確說明用於辨識氣候變遷衝擊與機會所使用的方法
 - ✓ 明確說明決策的氣候變遷調適行動與決策的依據，並說明其他考量的調適方案
 - ✓ 說明監控與評估計畫與相關成果

資料來源：the International Organization for Standardization,
<https://www.iso.org/standard/68507.html>、本計畫彙整。

圖 2.3.5 ISO14090 調適計畫執行之管理與溝通

2.4 運輸系統氣候變遷衝擊評估作業

運輸系統路網與節點支援地區、國家與區域的各項活動，若路網或節點營運中斷將嚴重影響民生經濟。然而氣候變遷導致極端天氣事件發生的頻率增加以及較長期的海平面上升、複合式的天氣事件等皆會影響客運與貨運的營運並損壞設施。故如何分析與因應上述衝擊成為重要課題。

聯合國歐洲經濟委員會(United Nations Economic Commission for Europe, ECE)的「運輸系統與節點面對氣候變遷的衝擊與調適的專家小組」分析其成員國運輸資產在氣候變遷環境下的衝擊與影響，並研擬對應的調適措施，於2020年提出《運輸網絡及節點的氣候變遷衝擊與調適》(Climate Change Impacts and Adaptation for Transport Networks and Nodes)報告^[13]。

該報告檢討過去各成員國於運輸系統氣候變遷衝擊分析及風險評估之作業缺口，提出未來執行建議，並以德國為案例說明氣候衝擊評估作業程序。重點摘述如下：

1. 過往執行經驗歸納

- (1) 辨識氣候變遷下面臨風險的運輸路網資產是一件複雜且長期的工作，需要有準確的交通基礎設施數據以及適當解析度的氣候預測資料。
- (2) 一個更具氣候變遷韌性的運輸系統對社會、經濟、安全、文化等各方面來說十分重要，雖然有許多國家擁有適當的資料可分析氣候變遷對運輸基礎設施的影響，但多數國家在近期才開始重視交通建設的調適能力。各國在分析運輸系統面臨的氣候變遷風險及影響時宜多交流及分享，將有助於增進運輸業者對氣候變遷調適方法或解決方案的認識。
- (3) 缺乏數據紀錄或資訊共享可能會影響運輸系統承擔氣候變遷風險。例如，運輸系統基礎設施及其使用情況（例如交通量、貨運量等）的數據，可能是因為缺乏此類數據的蒐集和處理方式，或缺乏發布或共享管道。未來應以統一且易使用的方式獲得此類數據資訊，以利進行更全面的分析，這是各國於提升氣候變遷調適能力時應優先考慮的重要工作之一。
- (4) 提高科學家對整個地區進行更全面分析的興趣，並在可能的情況下，涵蓋更具體的評估指標及建置更明確的氣候變遷模型。更理想的情況

是，此類分析最好能採用「具有一致性」的方法蒐集及產出數據資料進行分析。

- (5) 透過分析，可初步找出將來可能受到極端事件增加影響的潛在區域，進一步顯示出區域內受到影響的網絡、節點以及將來可能會面臨的風險。同時，從預測的風險分析中進一步找出相對應的氣候調適措施。
- (6) 未來需進一步進行補充分析，例如，評估自然和人為因素（如潛在的地形、地質和土地使用等）及評估特定運輸系統的個別特性（如其設施年齡、品質、特定結構及其相應的極端天氣事件耐受力等），這些因素都可以進一步增強氣候變遷影響模式的預測能力，並能評估氣候變遷參數以及這些參數與運輸系統、系統營運影響之間的因果關係。
- (7) 評估氣候變遷影響與其對運輸系統造成的風險之方法不止一種，儘管在方法、蒐集之數據方面存在差異，但氣候變遷風險分析結果還是存在很多相似之處，這些評估方法的研究成果有助於識別和確定調適工作需求的優先程度。國際間若能共享氣候變遷評估方法將有助於支持尚未發展相關評估方法的國家推動相關分析工作。
- (8) 評估氣候變遷對運輸系統和系統營運的影響並採取適當的調適措施，還應多加考慮跨部門的合作問題，例如，運輸系統與能源及水資源部門之間的相互合作問題等。

2. 未來執行建議

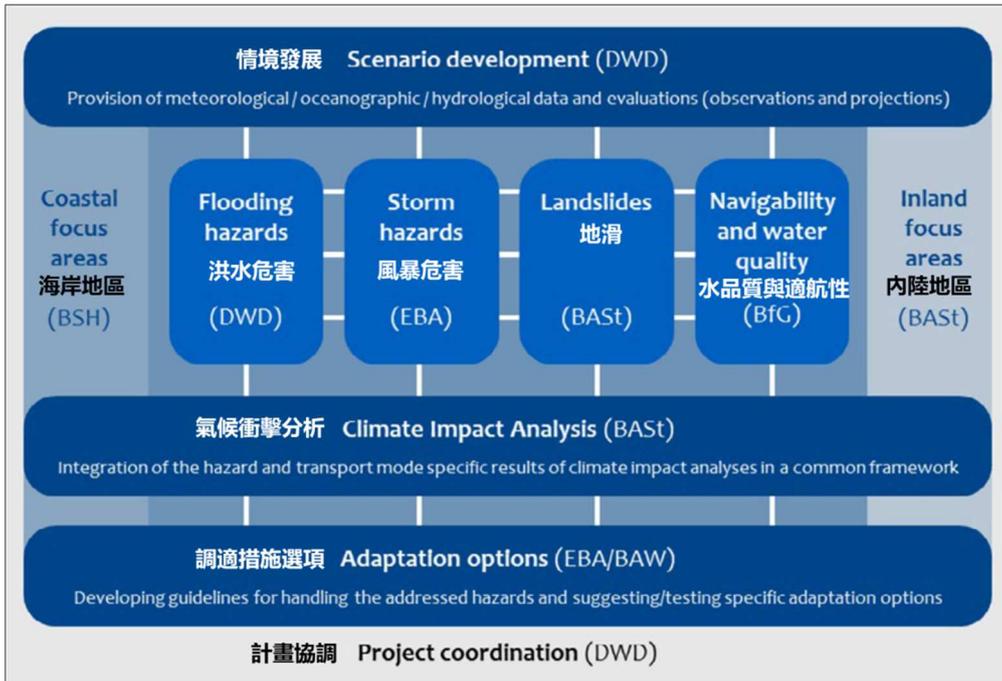
- (1) 應廣泛分享此報告的成果，以提高委員會會員國積極評估運輸系統設施與營運在氣候變遷下的衝擊並辨識調適措施與獲取各界對調適措施支持。
- (2) 應使公、私部門的決策者及運輸專家了解現存或未來可加以開發的調適評估方法與工具，以分析氣候變遷對運輸基礎設施和系統營運構成的風險。因此，應妥善準備以專家研究報告為基礎的資訊，以便在各式媒體上發表或在氣候變遷調適論壇及會議上介紹。
- (3) 公共行政部門應考慮至少為國際重要性的基礎設施提供運輸網絡和節點的地理資訊系統數據，如 GIS 環境中運輸網絡和節點的位置等。

- (4) 歐洲經委會成員國應考慮在 GIS 中建立基礎設施資料，歐洲經委會秘書處應探索各種方式，使其成員國在沒有能力建立自己的地理資訊系統的情況下使用歐洲經委會的地理資訊系統。
- (5) 建議歐洲經委會成員國參加經委會運輸資料統計工作組定期辦理的運輸資料普查，方能充分蒐集，處理和共享國際鐵公路網絡與節點的交通量數據，此類數據對於調適計畫非常重要，並需要積極探討以電子方式自動蒐集與發布數據的機制。
- (6) 應致力於將整個歐洲經委會區域內的氣候預測數據資料一致化。
- (7) 建立更多有關氣候變遷和極端天氣事件對運輸設施影響的相關知識，並通過歐洲經委會地理資訊系統向各國提供這些知識。
- (8) 各國應利用專家組在本報告中提出之成果，研擬進一步的研究項目，以更充分了解其運輸系統在氣候變遷和極端天氣影響下的脆弱度。
- (9) 具有專門調適知識的國家應與國際分享其執行調適計畫獲得的知識和經驗教訓，以幫助其他地區建立氣候變遷資訊、知識和調適能力，以因應氣候變遷風險以及辦理與運輸系統相關的評估和調適工作。
- (10) 在調適氣候變遷工作方面經驗不足的國家與未參與專家組工作的國家，應考慮參與此類工作，特別是於獲取寶貴的交流和資訊共享。
- (11) 國家計畫應允許建立一個調適知識資料庫，其中應包含以下資訊：(1) 高風險區域熱點；(2) 建議採取的調適措施及降低風險的成本效益。此外，調適資料庫還可收納包括用於監測和評估調適措施的指標等。
- (12) 國家計畫應有助於擬定指導機制，以利將氣候變遷影響和預測納入規劃和業務過程，並在各主管部門之間共享。

3. 案例研究

德國運輸系統之氣候變遷調適作業流程如圖 2.4.1 所示。

首先針對氣候學、海洋學、水文學等數據資料進行情境模擬，再依據不同地區受到之自然危害程度進行分類，如靠海岸地區易受到洪水與暴風危害，靠內陸地區較易受到地滑和河流災害。

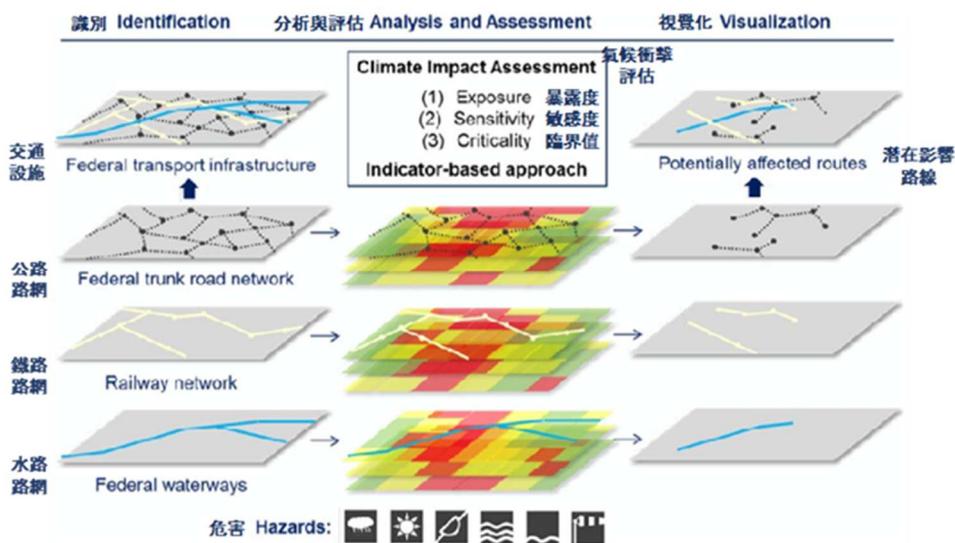


資料來源：United Nations Economic Commission For Europe, Climate Change Impacts and Adaptation for Transport Networks and Nodes, 2020、本計畫彙整。

圖 2.4.1 德國運輸系統氣候變遷調適作業流程示意圖

接著分析氣候衝擊，方法如圖 2.4.2 所示。評估分析方法會針對不同運輸系統設施進行識別分析，並與各類危害度資料進行地理資訊系統之疊圖分析，分析後將潛在影響路線以地理資訊視覺化方式呈現分析結果。

最後再針對氣候衝擊分析結果進行調適措施選項評估與計畫協調。由此可見氣候衝擊分析為調適計畫的基礎。



資料來源：United Nations Economic Commission For Europe, Climate Change Impacts and Adaptation for Transport Networks and Nodes, 2020、本計畫彙整。

圖 2.4.2 德國運輸系統氣候衝擊評估分析流程示意圖

2.5 鐵公路系統因應氣候變遷調適

2.5.1 鐵路系統

以下回顧英國運輸研究實驗室所提出的韌性鐵路建立流程與建議以及斯洛伐克於辦理鐵路主線改善計畫時，具體考量未來氣候變遷情境，並將調適措施融入規劃設計之案例。

1. 運輸研究實驗室 (Transport Research Laboratory, TRL)：建立鐵路韌性

英國 TRL 於 2019 年在「韌性轉變」(The Resilience Shift) 的系列計畫下出版了《鐵路：產業提升韌性的指南》(Rail: An Industry Guide to Enhancing Resilience)^[14]，針對鐵路系統在持續變動的環境下如何提升韌性的作為與支援工具提出專業的建議。重點摘述如下：

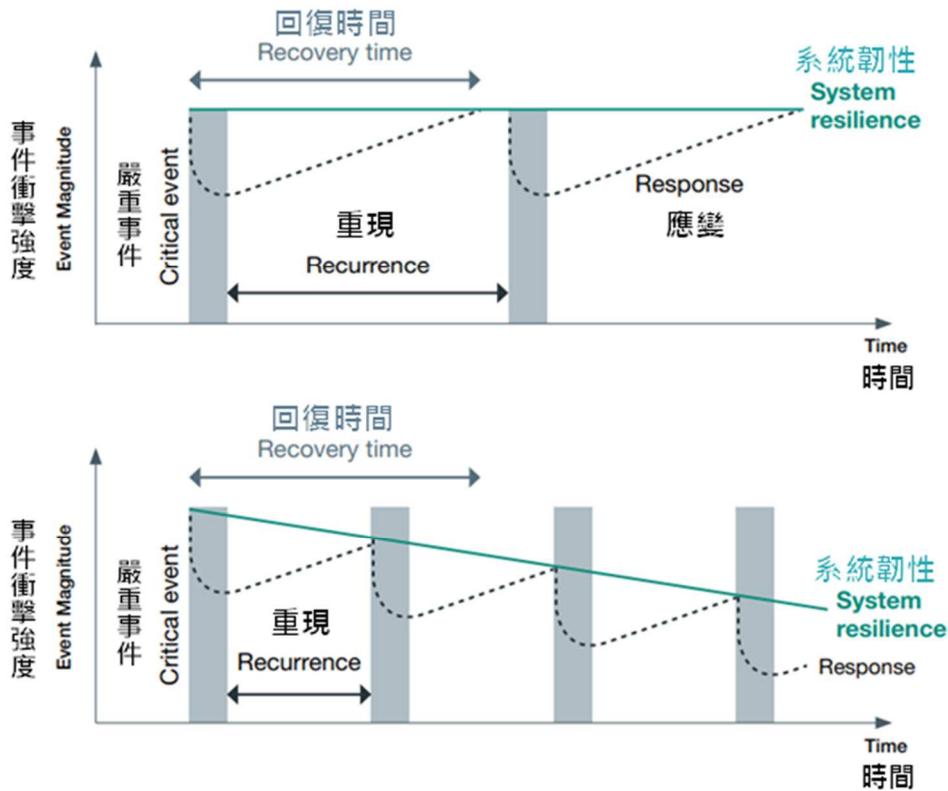
(1) 韌性鐵路的概念

該指南將韌性定義為「可承受、調適與回復的能力」，而具韌性的運輸系統可在受衝擊時依然維持其基礎運輸能力 (essential services)。

韌性系統的組成包含以下 4 個因子：

- ① 備援力 (redundancy)：系統的替代道路或是備用的運輸容量。
- ② 可靠力 (reliability)：系統可在多種狀況下維持營運。
- ③ 耐受力 (resistance)：系統的物理耐受力。
- ④ 回復力 (recovery)：系統受到衝擊時的應變與回復能力。

在氣候變遷日漸嚴峻的狀況下，如極端天氣事件的發生頻率日增，則設施的回復時間將受影響，無法回復到其原有功能導致無法維持在一個平衡的韌性點 (如圖 2.5.1)。故透過上述另外 3 個韌性因子 (備援力、可靠力與耐受力) 提升設施韌性至關重要。



資料來源：Reeves, S., Winter, M., Leal, D., and Hewitt, A. May. Rail: An Industry Guide to Enhancing Resilience Primer. TRL and Resilience Shift, UK, 2019.

圖 2.5.1 連續天氣事件對運輸系統的衝擊

提高系統韌性的直接效益為改善營運安全、減少旅運受影響與設施受損等發生，間接效益則是讓仰賴運輸系統的民眾、社區、產業與其他維生基礎設施等都可持續運作。

(2) 韌性鐵路系統的建立

為進一步推動調適，以經濟的角度量化韌性行動的成本效益為一作法，透過量化韌性行動可節省的維護與修繕成本，鼓勵設施管理機關在考量投入成本的前提之下投入韌性提升作為。

另外一個提升系統韌性的作為則是將韌性的概念導入鐵路設施與管理。鐵路設施的韌性管理涉及到多種資產，如軌道、車廂、隧道、橋梁、土建、邊坡、車站與號誌等。以管理面看則是應用價值鏈 (value chain) 的概念 (如圖 2.5.2)，於每一個階段 (規劃、設計、建設、營運等) 納入韌性的概念，此作法須與利害關係人合作，以進行較全面的考量，俾利於韌性行動的推動。以下說明各階段如何納入韌性概念。

評估與構想			設計與建設			營運與維護		
評估	方案	執行	設計/ 規劃	財務	建設	營運	維護	報廢/ 翻新

資料來源：Reeves, S., Winter, M., Leal, D., and Hewitt, A. May 2019. Rail: An Industry Guide to Enhancing Resilience Primer. TRL and Resilience Shift, UK.

圖 2.5.2 運輸系統的價值鏈

① 評估與構想階段

此階段的決策通常是根據政策需求及如何最佳達成此需求，故包含建設的目標（如效益）與設計方案等。此階段的決策雖由國家政府決定，但也受地方社區與企業等的影響。如設施的韌性可在此階段即被納入考量將可達到最大的效果，例如在建設目標與設計方案中就納入韌性的概念與考量。

② 設計與建設階段

針對前一階段研擬之方案再進一步評估其經濟、社會與環境影響，此項作業由設施管理機關與政府機關依據標準化的評估準則一同執行。評估的項目包含建設設施、更新設施的韌性與此計畫對其他既有設施與社區韌性的影響。

透過公聽會與利害關係人溝通，規劃方案選取後會再進行細部設計，由設施管理機關選取設計與材質等及設定廠商資格與要求。在此階段可透過更強韌的材料與設計標準來確保設施可承受不同程度的天氣事件，也可透過設計來讓設施受損時可更簡易的被修復或在氣候狀態與環境改變時可進行更新。建設的設計與使用之材料可再視廠商進行調整，並由設施管理機關同意。建設期間需確保用於提升韌性之設計與機制不因施工期限之壓力與預算受影響。到此階段都還可針對設計進行調整以提升韌性。

③ 營運與維護階段

此階段的作業由設施管理機關與其營運廠商負責。提升韌性的做法包含設定設施維護的優先順序與改善面對天氣事件的應變作為。

為提升設施韌性，須將韌性的概念納入設施生命週期的每一個決策點，在決策上就關乎許多不同的利害關係人，如表 2.5-1。

表 2.5-1 利害關係人類型與舉例

利害關係人類型	說明
設施使用者	民眾與企業為主要的火車與物流使用者
設施營運者	大多的鐵路設施由政府持有，一部分為私人鐵路
政府部門或機關	運輸設施大多由中央的交通部主管
監理	監理機關可能為一個或多個
緊急服務	如有緊急情況，會納入鐵路警察、救護車與消防車等
其他政府機關	視衝擊事件可能需其他政府機關共同協商，如大規模淹水事件除了鐵路設施機關本身、環境部或地方政府也係利害關係人
地方政府	除了是事件發生在地方管轄範圍時的厲害關係人外，也掌管軌道系統規劃與建設
廠商、供應商、營運商	私人廠商負責鐵路系統的管理、維護、建設與設計等，其負責的範圍由合約訂定
社區與當地產業	社區與當地產業容易受旅運延遲影響，故會積極爭取提高設施韌性
技術顧問	國家級的研究單位可提供軌道韌性建立的相關建議，輔助政府決策作為
軌道列車製造與營運者	列車營運者將列車出租給貨車與物流營運公司，列車的設計與狀態影響軌道系統的韌性
外部贊助者	部分開發中國家的軌道建設係來自國際組織的建設基金，建設基金針對韌性設計有相關要求

資料來源：Reeves, S., Winter, M., Leal, D., and Hewitt, A. May. Rail: An Industry Guide to Enhancing Resilience Primer. TRL and Resilience Shift, UK, 2019.

(3) 韌性提升的 6 大領域

該研究在最後提出提升韌性的 6 大領域，為更全面提升系統韌性的思維，如圖 2.5.3 所示。



資料來源：Reeves, S., Winter, M., Leal, D., and Hewitt, A. May. Rail: An Industry Guide to Enhancing Resilience Primer. TRL and Resilience Shift, UK, 2019.

圖 2.5.3 提升韌性的 6 大領域

① 改變思維 (changing mind-sets)

透過改變想法，從受事件衝擊後回復轉變為規劃階段的預防。因社會普遍在思維上給予工程與回復作為的肯定大於規劃與預備作為，需從此思維上開始改變，讓規劃作為可得到更多的認可與資源。

另外，雖大多數鐵路營運者須考量較即時與短期的營運課題，但也應做更長期的規劃，在面對影響事件發生時可採取更全面的預警與應變，而非被動式的應變。透過掌握設施的全生命週期狀態並辨識未來的風險也可讓整體組織更具韌性。

韌性的建立是長期的作為，透過長期的預算規劃方能達成，而非僅是在事件發生後編列短期的預算因應。因組織經常會被現有的作為

所限制，故需持續透過不同情境的壓力測試（stress testing）精進相關作為。

② 建立領導與當責制（provides leadership and accountability）

因預算有限，韌性的行動計畫與其他面向的行動計畫競爭著資源，故需政府政策方向的介入與領導，讓韌性鐵路設施能被建立，例如：透過中央機關與領導人的帶領。

除了中央的領導，整個組織的認同與向心力一樣重要，透過工作坊、培訓、訂定規範等，擴大組織對韌性的認識與其重要性的認同。為擴大認同性，組織也應適時在對內與對外的場合上宣導其在韌性的相關作為。

為逐步建立韌性的可靠性，應將韌性的概念與組織政策結合，訂定目標與行動計畫，如蘇格蘭運輸署（Transport Scotland）的目標為在 2050 年時鐵路系統因淹水而受到的延遲影響少於 2010 年的延遲。

除了訂定目標與計畫，在預算的編列上應設計一套專款專用（ring-fenced）的預算機制，以利建立韌性的相關計畫可不受影響地持續推動。

計畫執行後也須持續進行相關的追蹤與分析，以確保計畫可實際建立/提升韌性。

③ 鼓勵系統化思考與合作（encouraging system thinking and collaboration）

韌性建立為跨機關、跨部門與跨系統的行動，需要彼此間的合作，例如透過建立討論平台（discussion forum）與跨機關的合作機制與資訊共享，可更強化韌性作為。

④ 風險管理（risk management）

為制定運輸系統維護與升級的優先性，以利提升韌性，須先辨識風險，透過標準化的資料蒐集與分析進行風險評估，並應用決策支援工具，達到風險管理的效果。

風險評估可制定為新建設在規劃階段的必要工作或是既有建設在資產管理過程需執行的工作。風險評估的結果應定期回顧並把評估的成果與維護過程整合。

⑤ 災害管理 (disaster management)

在災害管理上應依據天氣事件衝擊的應變、意外狀態的應變與受損回復制定權責的單位，並有充足的資源與相關人員的培訓可提升災害管理能量。除此之外，應有共同基金或是多個機關 (multi-agency) 的合作機制，並制定災前、災中與災後的資訊與數據共享機制以及於災後在組織內與組織外分享學習到的課程與未來的改善方向。

⑥ 韌性納入組織流程與程序 (embedding resilience in organizational processes and procedures)

由單一機關推動韌性鐵路系統是很艱難的工作，需多個機關共同將韌性納入組織流程與程序，包含中央政府、鐵路管理機關、地方政府與規劃機關、廠商、使用者等。

2. 斯洛伐克鐵路：納入氣候變遷調適措施的鐵路主線改善計畫

鐵路為斯洛伐克重要的運輸設施，根據 2017 年的統計，其占全國 35.6% 的客運量與 19% 的貨運量^[15]。鐵路主線連結 Bratislava, Žilina 與 Košice 等城市，為 trans-European TEN-T³ 運輸系統的一部分。斯洛伐克國家鐵路運輸公司 (Railways of the Slovak Republic) 為提升此路線的運量、安全性、舒適性與競爭力，進行路線的改善計畫。

考量氣候變遷對運輸系統的風險，路線改善計畫需納入調適措施，故可行性評估規定需辨識鐵路系統的氣候風險與脆弱度。

運用斯洛伐克運輸研究中心於 2018 年受交通與建設部 (Ministry of Transport and Construction) 委託研擬的《評估氣候變遷對重大運輸計畫的衝擊方法手冊》(Methodological Handbook on Assessing Climate Change Impacts on Major Transport Projects) 建議之評估方法，評估鐵路面臨的氣候風險，並據以提出氣候風險因應的工程與營運措施。

評估結果顯示，該鐵路系統主要面臨淹水、天氣事件頻率及強度增加的風險 (如圖 2.5.4)。

³ trans-European TEN-T 為歐洲大型運輸網的開發計畫，包含鐵路、公路、水路、港口、機場等。此計畫的主要目標為移除歐盟內的運輸缺口、瓶頸與技術限制，並提升社會、經濟與國家間的連結度。

Stationing	Object	Risk	Risk rate
105.774	Current route	The current bridge is located quite low above the water level - ca. 1.5 m above standard discharge. It complies with Q100. During a model flood of Q1000, the water would overflow the track and bridge with discharge speed of 2.0 m/s. The body of the track can get destroyed - the levelling of the track must be increased in the technical proposal.	4
108.125	Current route	The current bridge complies with Q100 and Q1000. The embankment got damaged during a recent flood. There will be a local increase in the discharge speeds of up to 4 m/s during Q1000. It can be solved by partial local technical measures during reconstruction.	2
	Relaying	The new bridge foundation and adjacent body must respect the highest speed of the watercourse.	-
109.5-112.2	V160/1	The route goes to a great extent through the overflow area during Q100 and Q1000. There are two new bridges in the proposal – first one is almost perpendicularly crossing the river, the second one in the angle of 20° degrees, which seems to be very problematic. The route gets at the end of the relaying to the river basin. We assess this proposed variant for 160 km/h as problematic. We recommend to adjust the route - only on the left bank of the river with the decrease of speed to 150km/h with arch radius of 1100 m	3

資料來源：<https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/incorporating-climate-change-risks-in-planning-the-modernization-of-the-railway-corridor-in-slovakia>

圖 2.5.4 鐵路改善計畫風險評估結果示意圖

依據《斯洛伐克的氣候變遷衝擊調適策略》(Adaptation Strategy of the Slovak Republic on Adverse Impacts of Climate Change) 報告，1881-2017 年平均溫度上升了 1.73 度，對強降雨的脆弱度也日漸升高。在未來的模擬情境下，相較於 1951-1980 年的氣溫，斯洛伐克可能會達到溫升 2 度 (即 RCP4.5 的碳排情境) 或溫升 4 度 (即 RCP 8.5 的碳排情境) 的狀態。

因應氣候變遷，該鐵路改善計畫導入下列 2 個類型的調適措施：

- (1) 技術面：提高重要鐵路設施在氣候變遷趨勢與極端天氣事件下的韌性，包含下列措施：(1) 建立高架電車線的強風防範 (可防範超過 30m/s 的風速)、(2) 提升系統的排水能力、(3) 視路線的區域狀況，以 100 年—1,000 年洪水重現期進行設計，架高路線高度，並視情況降低邊坡坡度，以預防土石流、(4) 加深橋梁的基樁、(5) 於鐵路路基 (subgrade) 與其他零件上運用高抗水 (water resistant) 的建材、(6) 應用具彈性的軌道組裝工法，以降低因高溫所造成之軌道變形機率、(7) 建置結構保護系統，如海堤、擋土牆、防風林等。
- (2) 管理面：透過管理方法降低天氣事件時的負面影響，包含：(1) 針對高風險路段的設施提高維護與管理，如裝設感測器監控氣溫、風速、雨量等、(2) 在鐵路服務中斷時，提供公路的代替服務、(3) 規劃鐵路的替代路線與有效率的緊急運輸管理、(4) 運用與環境管理相關的措施，如流域的林地復育等。



資料來源：<https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/incorporating-climate-change-risks-in-planning-the-modernization-of-the-railway-corridor-in-slovakia>

圖 2.5.5 以 500 年雨水重現期設計之橋墩高度（左圖）、邊坡防護（右圖）

2.5.2 公路系統

以下回顧英國運輸研究實驗室的韌性公路指南、美國聯邦公路總署（Federal Highway Administration, FHWA）以自然為本的沿海公路調適措施以及美國國家公路合作研究計畫（National Cooperative Highway Research Program, NCHRP）於 2020 年發布的《因應極端天氣事件的成本效益評估手冊》之重點，了解將氣候變遷納入考量的成本效益評估準則，輔助公路氣候變遷調適相關計畫之投資決策評估。

1. 英國運輸研究實驗室：建立公路韌性

英國 TRL 於 2019 年在「韌性轉變」的系列計畫下出版了《公路：產業提升韌性的指南》（Roads: An Industry Guide to Enhancing Resilience）^[16]，針對公路系統在持續變動的環境下如何提升韌性的作為與工具提出了專業的建議，雖將鐵公路分為 2 本指南，但其中有許多相同的概念。重點摘述如下：

(1) 韌性公路的概念

韌性公路的概念與建立韌性系統與韌性鐵路相同（請參閱前文 2-30—33 頁）。韌性公路的概念在近年來因氣候變遷與極端天氣事件衝擊，相關的研究大幅成長。

(2) 韌性公路的領域

韌性公路在策略上、營運上都有不同的作為。策略上除了需政策與法令上的支持外，相關的研究與數據也都有助於韌性公路的規劃與設計。在營運上則需考量預警（prevention）、準備（preparedness）、應變（response）

與回復 (recovery) 等相關作為。

(3) 韌性提升的 6 大領域

韌性公路提升韌性的 6 大領域概念與韌性鐵路相同 (請參閱前文 2-34~36 頁)。

2. 美國聯邦公路總署：以自然為本的沿海公路調適措施

因海平面上升、海岸侵蝕、暴風雨等，許多位於沿海的運輸系統皆受到衝擊。許多國家的運輸主管機關開始意識到傳統工程的限制及工程對生態的破壞，逐步採用以自然為本的解決方案與生態保育之方式，或是自然結合工程之做法保護沿海的運輸系統^[17]。自然為本解決方案為使用自然材料或流程來減緩侵蝕、波浪災害、洪水危害，為一種替代傳統穩定海岸線與保護設施的技法。

美國的聯邦公路總署於 2019 年發布《以自然為本提升海岸公路韌性的解決方案》(Nature-Based Solution for Coastal Highway Resilience) 說明如何運用以自然為本的解決方案提高海岸公路在面對極端氣候與海平面上升衝擊時的韌性。

(1) 以自然為本的調適措施概述

以自然為本的調適解決方案可做為氣候衝擊事件的第一線防禦，並提高沿海公路的調適韌性。利用物理和生物物理程序，與海岸生態組成的一個以自然為本的調適解決方案可減少沿海公路受洪水、波浪和海水侵蝕的情形。例如，潮汐沼澤、紅樹林和海岸林可減少沿海洪災且可有效的消散海浪的波浪能量 (wave energy)，減緩波浪與洪水對公路設施的破壞與侵蝕；礁石能消散波浪能量，並干擾波浪力 (wave load)，減少波浪傳播和越過海岸；海灘和沙丘能消散波浪能量並減少沿海洪水和極端事件的破壞。

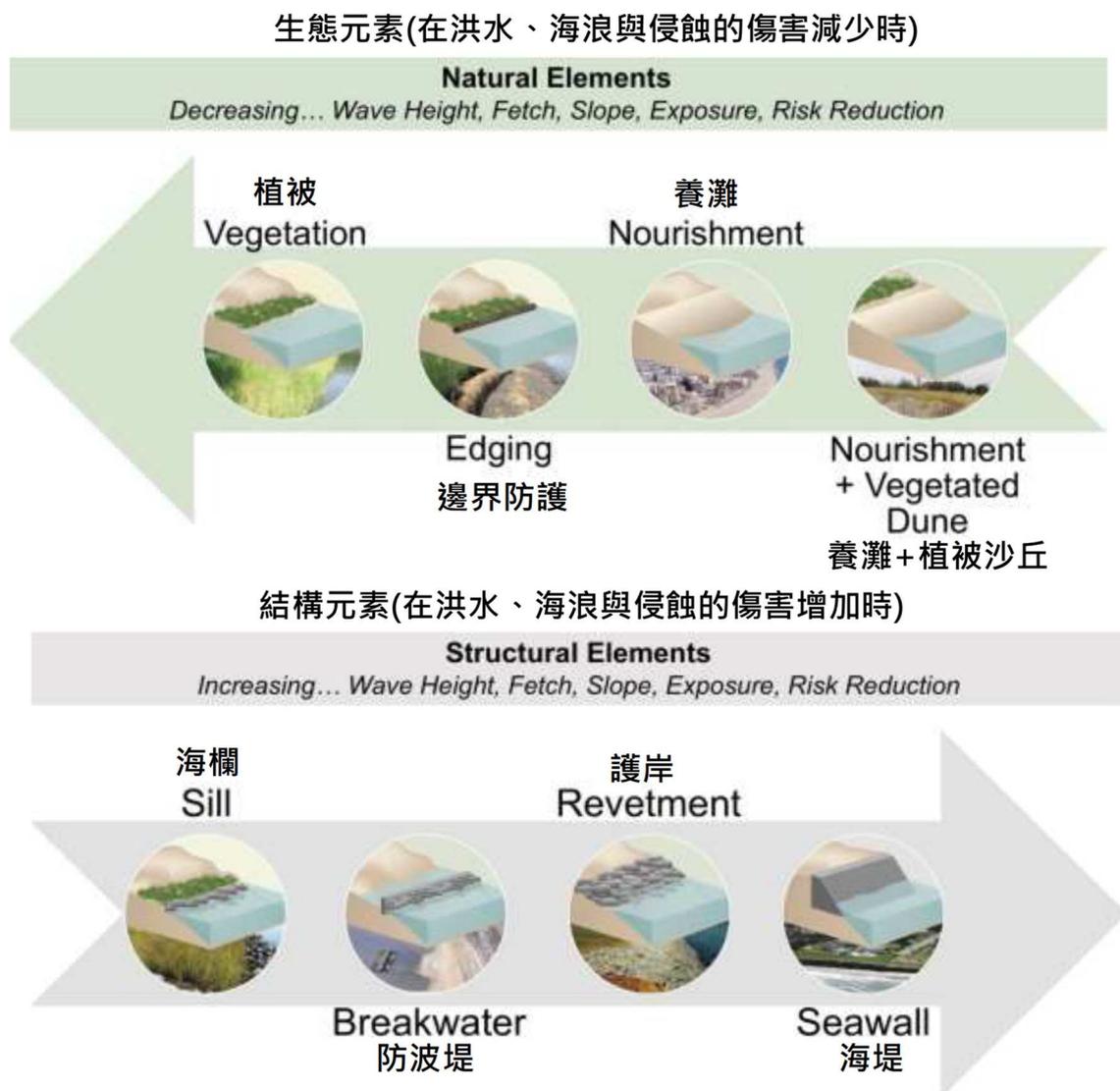
以自然為本的調適方案成本低於或相等於傳統海岸線保護工程的初始成本，但是，此調適方案需一定程度的例行維護，而傳統的海岸線保護工程則不需要，可自然為本的調適方案在面對極端事件時的韌性較大。

以自然為本的解決方案可適用於海浪侵蝕風險較低的環境，工程工法則適用於海岸侵襲風險較高的環境，在決定應用的工法上可視海浪侵蝕的不同的程度而定，如圖 2.5.6 所示，並可適度採用混合工法 (hybrid nature-based solution)。

以自然為本的解決方案有 4 項優點：(1) 透過自然循環系統增強工程

面對自然衝擊的韌性、(2) 等於或低於工程工法的成本、(3) 運用自然調適的方法去達成與工程工法一樣的目的以及 (4) 相比於工程工法提供了更多自然美學上的效益。

海岸公路能否適合採用以自然為本的解決方案需考量以下 6 點：(1) 對於工程韌性與危害降低的需求、(2) 該地生態與地質的條件符合度、(3) 面對大浪的暴露度、(4) 工程計畫的標的與成本效益、(5) 需要的工程可靠性以及 (6) 在地的政策與法規。



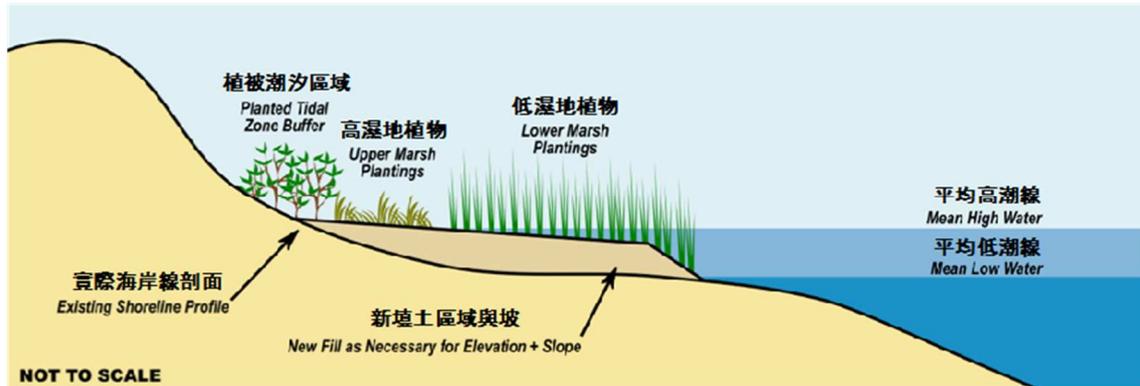
資料來源：Federal Highway Administration, Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: an Implementation Guide, 2019、本計畫彙整。

圖 2.5.6 自然為本元素與結構元素風險程度適用性

以自然為本的調適措施可分為 6 類 (參見圖 2.5.7~12)，說明如下：

① 植被

提供各種生態效益，可改善水質並降低海浪侵蝕風險，同時為各種物種提供棲息地。

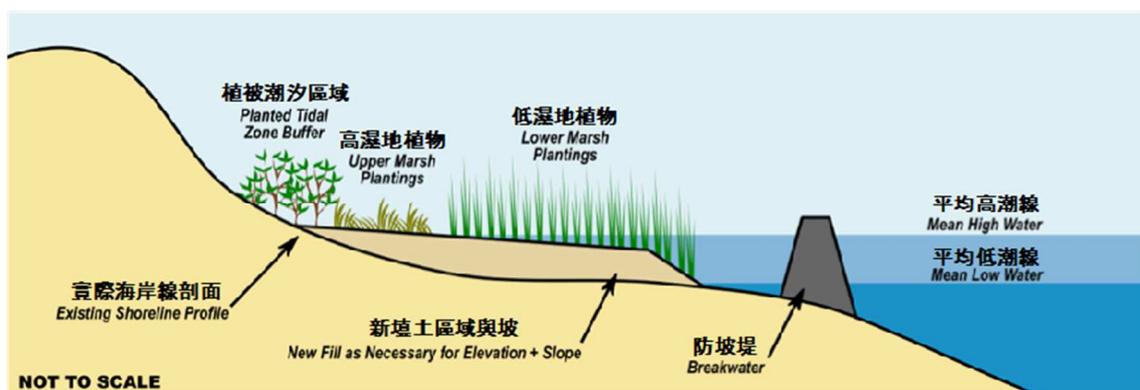


資料來源：Federal Highway Administration, Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: an Implementation Guide , 2019、本計畫彙整。

圖 2.5.7 植被示意圖

② 防波堤

提供各種生態效益，可改善水質並降低海浪侵蝕風險，同時為各種物種提供棲息地，近海防波堤能減弱海浪波能。

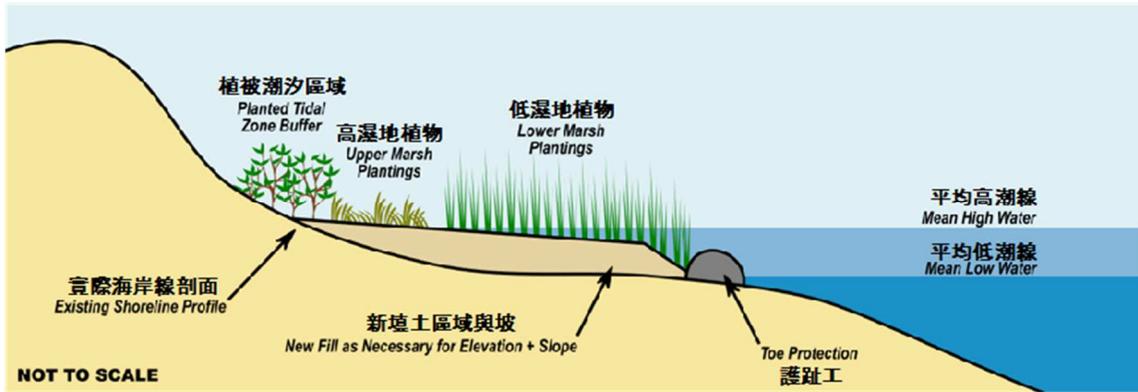


資料來源：Federal Highway Administration, Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: an Implementation Guide , 2019、本計畫彙整。

圖 2.5.8 防波堤示意圖

③ 海欄

選擇適合該地生存條件的植物及沉積物，在適當的高度建立一個逐漸傾斜的平台為此區域植物維持生命。在邊緣提供護趾工保護，通常為岩石護岸的形式。

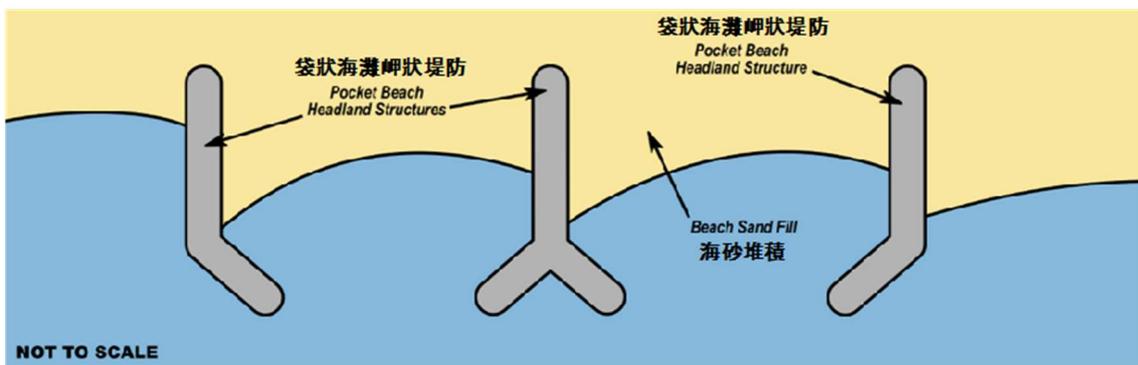


資料來源：Federal Highway Administration, Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: an Implementation Guide , 2019、本計畫彙整。

圖 2.5.9 海欄示意圖

④ 袋狀海灘

結合養灘和岬狀堤防的工程方法能使海岸更穩定。

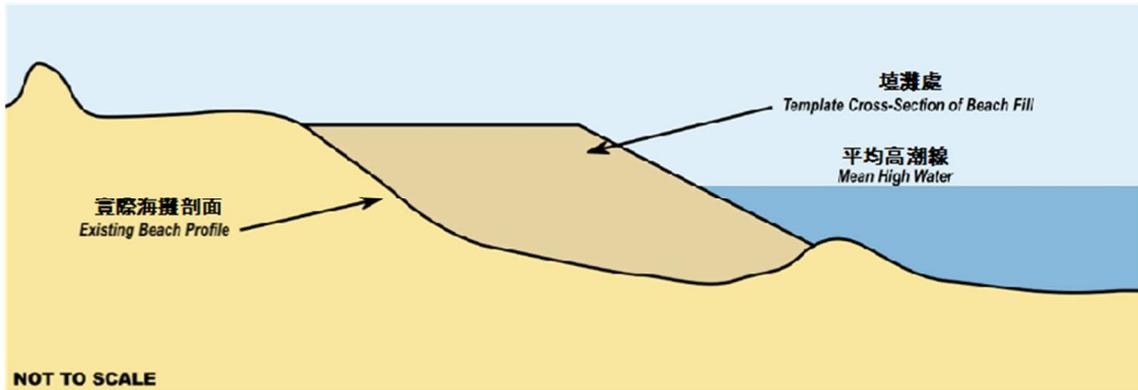


資料來源：Federal Highway Administration, Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: an Implementation Guide , 2019、本計畫彙整。

圖 2.5.10 袋狀海灘示意圖

⑤ 養灘

養灘能改善棲息地，增加休閒和經濟價值，並降低海岸風險，有助於維持海岸線位置。

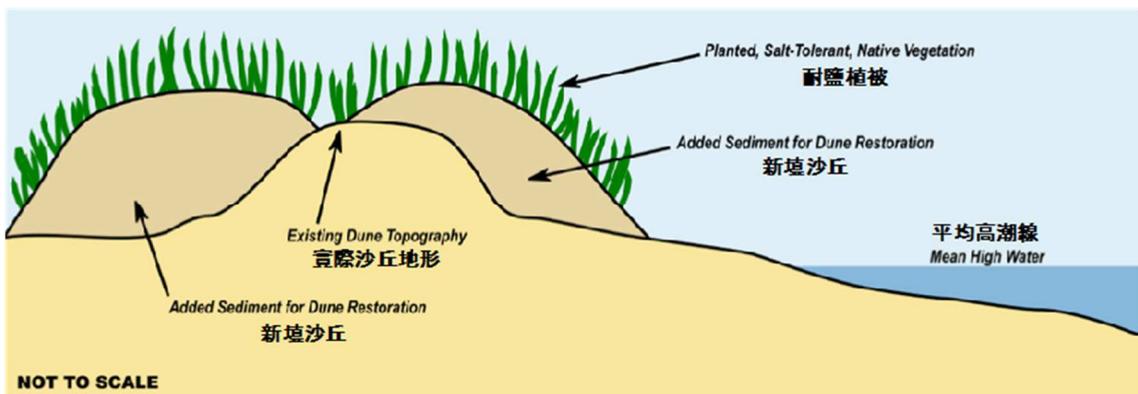


資料來源：Federal Highway Administration, Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: an Implementation Guide , 2019、本計畫彙整。

圖 2.5.11 養灘示意圖

⑥ 沙丘

沙丘在颱風期間能降低海浪和洪水風險，特別是在與現有海灘或養灘工程結合使用時，此外，沙丘還能提供乾燥的海灘生物棲息地。



資料來源：Federal Highway Administration, Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: an Implementation Guide , 2019、本計畫彙整。

圖 2.5.12 沙丘示意圖

(2) 以自然為本的調適措施流程

以自然為本的調適措施流程分為：(1) 規劃、(2) 現場區位評估、(3) 設計注意事項、(4) 政府許可、(5) 建設、(6) 監控、維護和管理等六步驟，如圖 2.5.13，各步驟說明如下：

① 規劃

結合以自然為本的調適方案，於交通規劃階段需能系統化考慮整個規劃區域的狀態。交通規劃者在此階段可與關鍵利害相關人協調與合作，以增加效益和降低成本，並能夠充分運用生態邏輯，利用以自然為本的解決方案建設規劃方法。

② 現場區位評估

選擇一處具備適合應用以自然為本的調適方案的地點特性及韌性特性的區位，地點特性需理解場地歷史和場地條件；韌性特性則包括確定沿海公路的脆弱處並確定韌性需求（如洪水減緩、海浪減緩、減少水土流失、海岸線穩定等，也包括長期的海平面上升因應）。

③ 設計注意事項

以自然為本的調適解決方案包含廣泛的各種技術專長及整個應用實施過程，如常見的自然材料、技術工程和生態設計注意事項與資訊、結構設計、材料選擇、滿足生態需求、適應沿海環境等。

④ 政府許可

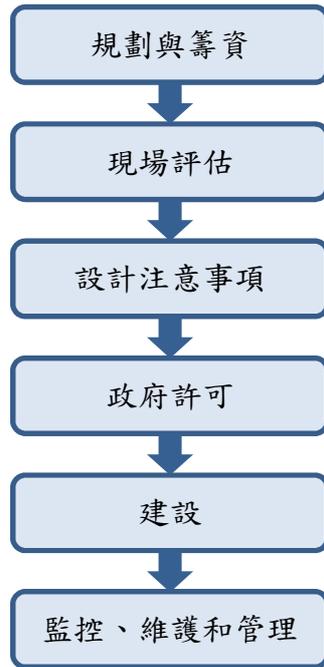
以自然為本的調適方案需政府單位審查，確保其合法性和許可性。

⑤ 建設

建設合約需允許創新的施工技術，如有敏感物種需避免侵擾、對於季節性生長期的植物則需要注意植被種植時間，而施工期間放置解釋性標誌則有助於沿海居民的支持與理解。

⑥ 監控、維護和管理

監控完工的以自然為本的工程來衡量和評估其受到的影響，監控計畫包括 3 個關鍵：（1）確定設施目標、（2）設定相關的績效指標以及（3）選擇適當監控測量方法。而維護要求因不同工法類型和設置而異，日常維護費用上以自然為本的解決方案為最低的。運輸專業人員可以將監控結果做為改進管理策略之基礎，確保生態工程能隨著生態建設的現場條件或未來運輸需求的發展變化而調整。



資料來源：Federal Highway Administration, Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: an Implementation Guide, 2019、本計畫彙整。

圖 2.5.13 沿海公路以自然為本的調適措施流程

3. 美國國家公路合作研究計畫：因應極端天氣事件的成本效益評估

因氣候變遷具有不確定性，相關的調適計畫如能針對其效益進行量化以決定執行的優先性，進一步研擬預算的編列與分配，可更合理地提升系統的調適能力。為能量化效益，過往各州也曾有利用質化方法結合量化方法評估調適計畫的做法，近年來也有研究如何評估調適計畫的成本效益。

美國各州交通局（State Department of Transportation, DOT）面臨諸多被美國土木工程師學會（American Society of Civil Engineers, ASCE）評定為 D 級與 C+ 級的老舊設施需維護與汰換，且在維護與汰換後須讓設施具有氣候變遷調適能力，承受極端天氣事件的衝擊，同時在受衝擊後可快速回復其基本功能^[18]。為達到上述目的，需編列相關預算，但政府資源有限，為一大課題。

為解決上述課題，需要有一套協助州交通局決策的工具，然傳統的成本效益評估方法成本高且過程複雜，僅適用於大型建設計畫。

州交通局認為適用於調適計畫成本效益評估的工具應具備以下特色：

- (1) 儘量的應用既有數據與流程。
- (2) 可搭配既有的方法與政策。

(3) 評估結果為淨現值 (net-present value)。

(4) 簡易操作。

為因應上述需求，美國國家公路合作研究計畫於 2020 年發布《因應極端天氣事件的成本效益評估手冊》(Incorporating the Costs and Benefits of Adaptation Measures in Preparation for Extreme Weather Events and Climate Change Guidebook)，針對州交通局所提出的需求提供應用成本效益評估 (cost and benefit analysis, CBA) 所需之資源，將 CBA 的應用調整為較為簡易與簡短的評估過程，以利州交通局應用 CBA 評估改善計畫的效益，除了針對既有的設施，也考量未來的建設，以建立具韌性的運輸設施。

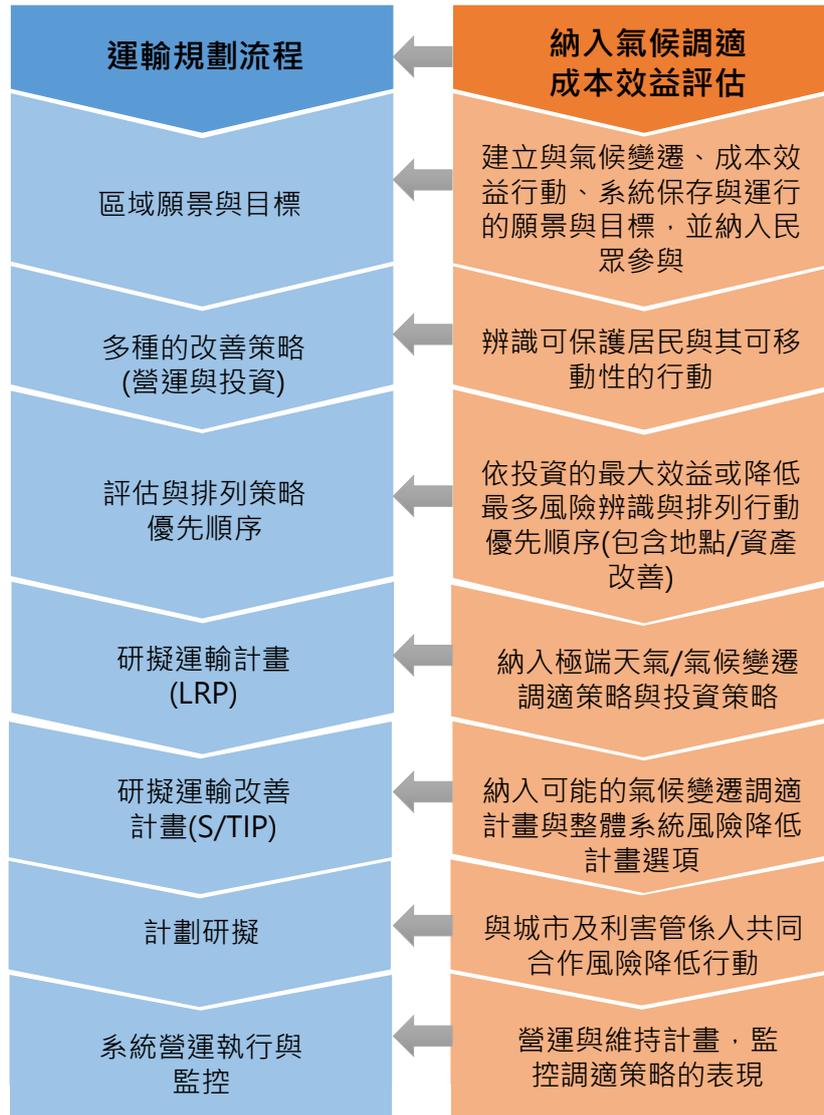
州交通局的設施多以 100 年洪水重現期做為設計標準，但百年洪水的發生頻率在部分地區以 10-15 年的發生頻率，也發生 500 年與 1000 年重現期的洪水事件。在重建時須考量是否將設施的韌性提高。

目前許多州交通局都已辨識其設施的氣候風險與脆弱度，CBA 也可提供全面的調適計畫考量，尤其是在與規劃流程整合時，可以將氣候脆弱度評估結果與調適執行之間連結，如圖 2.5.14 及圖 2.5.15。



資料來源：National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2020. Incorporating the Costs and Benefits of Adaptation Measures in Preparation for Extreme Weather Events and Climate Change Guidebook. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25744>.

圖 2.5.14 從氣候脆弱度評估到調適執行的過程



資料來源：National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2020. Incorporating the Costs and Benefits of Adaptation Measures in Preparation for Extreme Weather Events and Climate Change Guidebook. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25744>, 2020.

圖 2.5.15 將氣候調適的成本效益概念納入運輸規劃的每個階段

(1) 成本效益的評估步驟

- ① 定義問題/機會 (define the problem/opportunity)：訂出需要解決的問題或可能的機會。
- ② 定義範疇、現實與假設 (define scope, develop facts and assumptions)：計畫包含的範疇，如地點、評估時間等。假設的資料可以提供 CBA 基準設定的標準。

- ③ 定義替代方案 (define alternatives)：替代方案為可解決問題或達到目標的調適策略。其中一個替代方案一定是零方案(status quo)，以做為比較的基準。
- ④ 訂定每一個替代方案的假設價格 (develop cost estimate for each alternative)：設施全生命週期的假設價格 (如建設前、建設中與折舊等)。
- ⑤ 訂定量化與非量化效益 (identify quantifiable and non-quantifiable benefits)：每個替代方案都會產生效益，做為未來衝擊規劃與設計時，效益通常是以避免的損失計算 (losses avoided)，例如服務的中斷或受損，此類效益可貨幣化，但部分效益較難貨幣化，在評估時則以說明的方式納入。
- ⑥ 訂定替代方案的選擇原則 (define selection criteria for alternatives)：訂定替代方案的選擇原則，成本效益評估可做為一個參考原則或是搭配其他參考原則。
- ⑦ 比較替代方案 (compare alternatives)：相互比較方案，成本效益的矩陣比較通常包含益本比 (benefit-cost ratio)、淨現值 (net present value) 與報酬率 (return of investment)。此階段也應進行敏感度分析。
- ⑧ 回報成果與建議 (report results and recommendations)：摘述評估結果與結論。結論所做出之方案建議應與成本效益與其他評估標準連結。

(2) 將氣候變遷納入成本效益評估

將氣候變遷納入成本效益評估的作法首先考量氣候模式與情境。氣候情境係使用 IPCC 於 AR5 報告中所使用的 CMIP5，為 4 個 RCP 的情境。為確保成本效益評估的準確性，需依據計畫所在區域選取合適的氣候情境。在情境年份的選取上也需考量設施的壽年進行評估，例如道路的壽命如果是 15-20 年，則須考量 20 年後的氣候型態變化。

(3) 成本效益評估的參數

舉例來說，以建設為主的調適方案，在成本的參數上包含建置前的成本 (如建照、土地取得等)、建設的成本、建設延遲產生的成本、每年的

營運管理、折舊成本以及社會與環境成本等。資料的來源主要為工程報價、過往相似計畫之紀錄、日常營運的報表等。

調適計畫的效益廣義上來說為「避免的災害影響」。包含生命與財產物理損害。調適計畫所產生的效益包含修復/替換的成本節省。以運輸系統來說，當受到天氣事件衝擊時，主要的設施如道路、橋梁與隧道，支持的設備如涵洞、堤防、圍欄、號誌等；應變與回復成本的節省，如天氣事件衝擊時可能會需要防護或替代設備以及相關的人事成本；其他的效益包含其他損害的節省、地方經濟損失的節省與運輸系統服務中斷或延遲的營運與時間成本損失節省等效益。

上述效益可應用下列資料加以估算：

- ① 歷史資料：機關過往因物理損害、應變與回復以及其他損害所造成的影響做為效益假設的數據。
- ② 工程報告：以工程角度評估不同運輸設施受損的成本。
- ③ 運輸部門研究：運輸部門針對運輸設備的損害進行研究所產出之數據。
- ④ 軟體估算：可應用 FEMA BCA 或 Hazards U.S. Multi-Hazard (HAZUS-MH) 等軟體輔助估算天氣事件的影響。

除了機關直接的效益外，調適計畫可產生的環境效益如強化環境生態、復育生態系統等、改善水質、建設開放的蓄水公共空間等。其他的效益為社會效益，如環境正義、舒緩民眾在氣候變遷環境下的心理焦慮等；安全，如生命價值及傷殘的避免。

(4) 調適計畫成本效益評估的案例

明尼蘇達州交通局的脆弱度評估顯示其橋梁、大型涵洞、管線與沿海公路等都有淹水的風險。透過進一步分析高風險的涵洞(參見圖 2.5.16)，並評估不同調適計畫的成本效益。



資料來源：National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2020. Incorporating the Costs and Benefits of Adaptation Measures in Preparation for Extreme Weather Events and Climate Change Guidebook. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25744>, 2020.

圖 2.5.16 改善之涵洞地點與外觀

涵洞 5648 有 2 個孔 (cell)，寬 10 尺、高 10 尺、長 90 尺，於 1963 年建設，已達其壽年。在氣候變遷的環境下，新建設施在其壽年經歷強降雨的頻率將增加。交通局應用 SimCLIM 軟體評估未來 3 個情境下 (RCP 4.5、RCP6.0 與 RCP8.5) 的降雨模擬。3 個情境皆使用 24 小時的降雨深度。另外也評估 2100 年時 5 年、10 年、25 年、50 年、100 年與 500 年暴雨重現期的預測流量，如表 2.5-2。

表 2.5-2 流量預測

暴雨重現期(年)	現況流量(cfs)	2100 年 RCP 6.0 情境的流量(cfs)
2	770	1,230
5	1,350	2,000
10	1,880	2,660
25	2,690	3,670
50	3,370	4,500
100	4,140	5,420
500	6,090	7,800

資料來源：National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2020. Incorporating the Costs and Benefits of Adaptation Measures in Preparation for Extreme Weather Events and Climate Change Guidebook. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25744>, 2020.

依據上述的分析，交通局研擬以下調適方案：

- ① 零方案：以相同規格的涵洞汰換既有涵洞，成本為 710,000 美金。
- ② 方案 1：以寬 16 尺、高 14 尺的涵洞汰換既有涵洞，成本為 770,000 美金。
- ③ 方案 2：以 52 尺寬的橋梁替代既有涵洞，成本為 1,130,000 美金。
- ④ 方案 3：以 57 尺寬的橋梁替代既有涵洞，成本為 1,210,000 美金。

上述的方案分別評估「有社會成本」及「無社會成本」的成本效益，使用 COAST 軟體評估各方案的成本效益，折現率設定為 2%。如納入社會成本，方案 1 在 3 個氣候情境下皆最符合成本效益，如不納入社會成本，則零方案在 RCP4.5 的情境下為最符合成本效益，方案 1 則是在 RCP 6.0 與 RCP 8.5 情境下最符合成本效益。

2.6 海空運系統因應氣候變遷調適

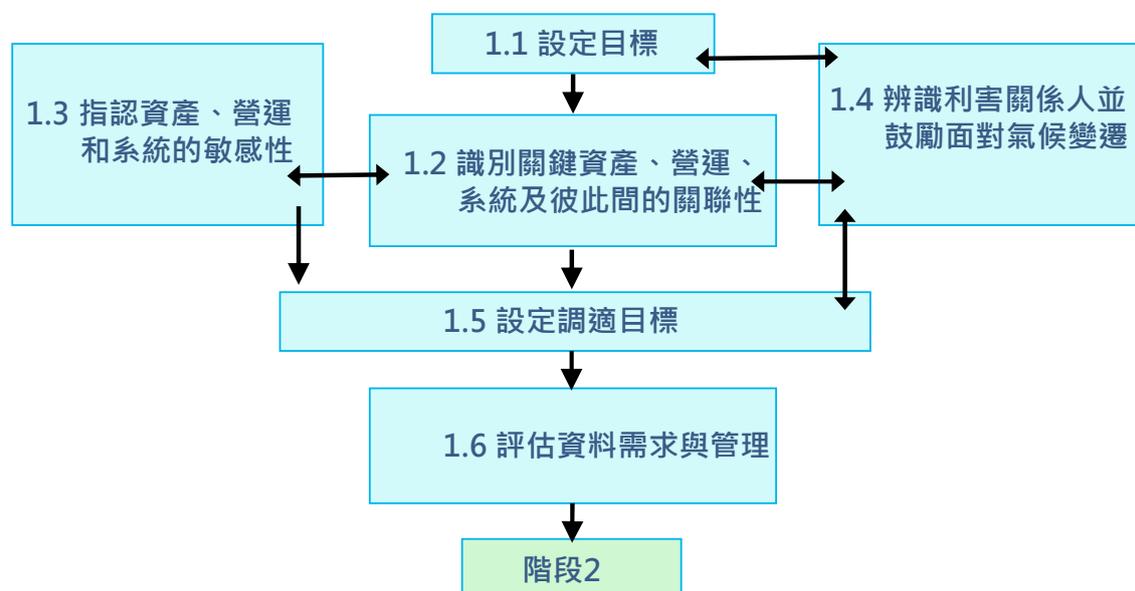
2.6.1 海運系統

全世界的主要港口及內陸航道正經歷溫升，同時季節性的降水、風及海浪也在變化，影響水上運輸設施，故港口及航道的經營者須採取相對的行動以強化設施在氣候變遷環境下的調適能力。

港口和通航水道對商業和社會發展至關重要，世界水上運輸基礎設施協會（World Association for Waterborne Transport Infrastructure, PIANC）於2020年發布《氣候變遷下港口與內陸航道的調適規劃》（Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways）^[19]。該指導手冊簡要介紹氣候變遷的衝擊及挑戰，並研擬氣候變遷調適計畫之導入流程，協助港口和內陸航道經營者規劃最佳的調適方法，流程分4階段進行，說明如下：

1. 階段1：界定關聯性與調適目標

需了解可能受氣候變遷影響的資產、營運和系統，並點出部門間可能相互依存或影響的關係，鼓勵內外部利害關係人一同參與討論，藉以順利訂定調適目標。同時強調「蒐集」與「管理」數據的重要性。



資料來源：The World Association for Waterborne Transport Infrastructure, Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways, 2020、本計畫彙整。

圖 2.6.1 階段1（界定關聯性與調適目標）流程圖

- (1) 1.1 設定目標：調適計畫的第一步為設定符合預期的長遠目標。
- (2) 1.2 辨識關鍵資產、營運、系統及彼此間的關聯性：識別關鍵資產、營運、系統及彼此間的關聯性將有助了解和發展氣候變遷下的資產管理。
- (3) 1.3 指認資產、營運和系統的敏感性：氣候變遷將改變與氣候相關的危害和衝擊，掌握關鍵資產、營運和系統的敏感度將有助於了解風險評估所需的氣候資料類型。
- (4) 1.4 利害關係人的合作
- ① 辨識內、外部利害關係人並進行對話及釐清相互的關係，避免造成利益及工作上的影響，確定調適方案具成本效益。
 - ② 提高利害關係人對氣候變遷的認知與掌握，可舉辦工作坊、視訊會議、演講、培訓活動等提高參與度，上述措施應建立在組織流程上，如風險管理、緊急應變計畫等；對外部利害關係人則可以技術報告、網路活動或現場活動等進行溝通。
- (5) 1.5 設定調適目標
- ① 決定臨界條件、限制及機會
臨界或限制條件將可能嚴重影響調適目標的訂定。典型的限制條件可能與所有權或管轄範圍有關，這些限制反映了環境、財務、法規或政策上的要求。
不僅要辨識限制條件，還需研擬可能合作的發展機會，包括：與正持續進行的企業計畫連結、透過第三方的倡議或共享服務以節省成本等。
 - ② 確定時間範圍
許多港口和內陸航道基礎設施的壽命為數 10 年，調適策略應幫助所有權人和經營者了解其資產於生命週期內的變化；反之，如果評估是為提供短期投資決策資訊，則規劃期程勢必要縮短。
 - ③ 設定具體的調適和韌性目標
調適目標需切合實際；理想上，設定時應採用「SMART」（具體、可衡量、可實現、實際和及時）的概念；同時，調適計畫是一個反覆

修正的過程，須時常與利害關係人討論並納入新的資訊，同時確立利害關係人在目標上的角色和職責，目標有可能因實際執行狀況而修改。

(6) 1.6 評估數據資料需求與管理

① 監控與記錄

有效和精確的氣候變遷調適計畫需合適的數據輔助。準確數據的蒐集、記錄和保存相當重要。如果相關技術數據不存在，則需開發、建置和維護監控的系統。

② 極端事件的影響

如欲了解極端事件的影響，需記錄受極端事件影響時的相關資訊，如天氣事件特性（總降雨量、時間、風向和強度等）、營運中斷的資訊及影響、對當地業務績效的影響、清理和維修費用、利害關係人的影響、對自然環境及資源的影響等。

③ 數據資料管理

監控、保護和有效使用數據資料和資訊資產可提高營運效益。

2. 階段 2：氣候變遷預測及情境分析

如圖 2.6.2 所示，除區別資訊的種類及基期狀況的認知外，同時也需研究與氣候變遷相關的參數和程序；指導手冊介紹氣候變遷下的情境分析，以掌握及了解未來的變化及影響程度，此階段也強調數據的蒐集及檢視，以掌握環境的變化及極端氣候、海洋及水文事件的發生頻率等。



資料來源：The World Association for Waterborne Transport Infrastructure, Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways, 2020、本計畫彙整。

圖 2.6.2 階段 2（氣候變遷預測及情境分析）流程圖

(1) 2.1 建立氣候資訊之需求

① 確認相關的氣候參數和程序

有鑑於過去的天氣事件衝擊，設施管理機關須了解相關的氣候參數和程序。例如：強風、颱風(暴潮)或極端降雨可能會對港口或內陸航道性能產生不利的影響。

② 讓利害關係人參與相關的氣候參數和程序之商定

與利害關係人進行討論將有助於確定相關氣候參數和程序，借鑒相關的個人經驗或紀錄，提供相關和潛在敏感的資訊。

(2) 2.2 了解基期狀況

① 整理基期的氣候資訊

氣候資訊可透過各種觀察、測量或歷史數據模擬等來源得知，同時也可評估未來氣候變遷的影響。除可與利害關係人得知數據來源外，也可從政府或研究組織中獲得，另外，氣象站的成果通常是免費提供或僅需低價購買。

② 過去極端天氣事件的掌握

基礎數據資料亦應整理曾發生過的極端事件，因為極端天氣事件發生頻率、時間及空間的影響是可預期的。

(3) 2.3 研究未來的氣候狀況

① 規劃期程應與氣候變遷的情境分析一致

儘管當前的趨勢和模式可做為短期變化的指標，但規劃期程為 10、30 年或 30 年以上的調適策略則需考慮不同的發展；使用者在氣候變遷的情境分析下能夠考慮到各種不確定因素，且須洞悉未來對氣候各種的影響及後果，將利於發展應對措施。

② 蒐集預測的氣候數據

整理每個可用於氣候預測的參數或程序。對於未來的預測應奠基於統計或氣候模擬上，但出於調適計畫目的，通常會參考已發布的數據資料，也可從 IPCC 數據發布中心找到相關資料，或參考其他具權威性的來源。

③ 頻繁或嚴重之極端事件發生的可能性

氣候科學的許多不確定性包括對未來溫室氣體排放的變化，這些變化對氣候參數和程序的影響可能會超過「臨界值」。因此，當預期極端事件將更加頻繁且嚴重時，統計的方法就需更加謹慎，也可利用過去事件來預測未來發生機率相當低的情況（例如：100、500、1,000年及2,000年的重現期）。

(4) 2.4 分析數據以了解氣候變遷的危害

① 分析基期和特別的數據資料

獲得原始數據後，需分析它們的適宜性，以識別每項基期狀況和氣候參數或程序的特徵，也可使用定性及定量指標做分析。

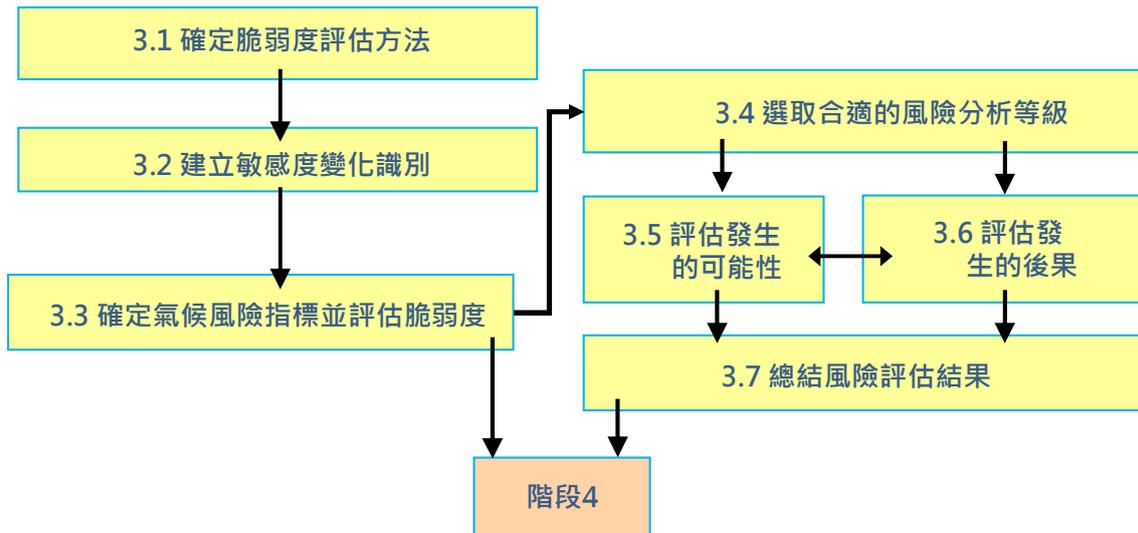
如所需的數據分析超出港口或內陸航道組織的耐受範圍，則階段1的利害關係者及組織將有可能提供幫助，或者尋求學術機構、地方政府、相關非營利組織的幫助，也可從具有相關數據分析經驗的專業人員中取得意見。

② 資料數據的侷限性

整理和使用氣候基礎和未來發展的數據時，需確保資料的品質和可靠性，避免因無視其侷限性使用數據導而致錯誤的結果。

3. 階段3：評估脆弱度及風險

詳述水上運輸基礎設施資產、營運和系統的脆弱度是如何評估，並在適當的情況下進行更詳盡的風險分析，以了解極端變化的可能性和潛在後果。為明智選擇調適方案，此階段需了解氣候變遷所帶來的風險將如何影響或產生新的風險。因此，3.1至3.3描述如何識別及量化氣候帶來的危害，並將其與原始狀態進行比較，從而著重關鍵資產、營運管理或系統在未來氣候變遷上的脆弱度；後半階段則是氣候變遷的風險分析（3.4至3.7），重點探討氣候危害發生的可能性及後果（影響）的性質和接受程度。



資料來源：The World Association for Waterborne Transport Infrastructure, Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways, 2020、本計畫彙整。

圖 2.6.3 階段 3（評估脆弱度及風險）流程圖

(1) 3.1 確定脆弱度評估方法

脆弱度評估的複雜程度會依據關鍵項目、數據的可用性、專業知識和資源的支持分析等而有所不同。可透過下列方式進行評估：

- ① 利用內部知識、當地資料數據和專家判斷來確定未來發展情境。
- ② 透過階段 2 所產出的項目做為指標進行評估。
- ③ 氣候參數和程序在工程評估中的應用，如：超出臨界值的機率。
- ④ 具體的地點分析、高精模型或其他可能的物理模型。

最後，關鍵利害關係人需在脆弱度評估中充分參與。因此，可以進行聯合演練、小組討論、會議等，要求他們評論評估草案，並將他們的回饋意見納入其中。

(2) 3.2 敏感度變化識別

首先，需收斂計畫範圍內的關鍵資產、營運管理及系統的各項氣候參數和程序，此步驟最少需區分敏感度的變化是大幅增加、增加、不變、減少或大幅減少；下面簡要說明如何識別氣候變遷下的關鍵資產、營運管理和系統的敏感度：

- ① 參考歷史資料數據及預測未來資料數據了解氣候的變化。

- ② 評估脆弱度的量化分析方法時不應排除質性的資料，因複雜的量化評估也應以質性的資料做為補充。
- ③ 對於可信度高的氣候數據應持續記錄；如數據的信任度很高，則可僅根據脆弱度評估做決策。
- ④ 如資源有限但已清楚潛在的風險，則應採取預防措施，並應自動「篩選」出有問題的資產、營運管理或系統以進行下一步的評估。
- ⑤ 不確定性並不會影響下一步的發展，階段 4 將說明如何透過選擇調適計畫的措施來排除。

(3) 3.3 確定氣候風險指標並評估脆弱度

首先以臨界值為定義風險的指標，接著定義風險可接受的程度，下一步則是評估其他天氣事件時，有必要指出臨界值可能會突破的可能性及頻率，如調適計畫範圍內的臨界值或其他風險指標超過預期，就需研究調適的能力。

如脆弱度持續增加，將必須找出其他相關指標進行評估，例如：維護成本及工作量、超過臨界值的頻率、附近是否有新開發的計畫及項目、近期或過去的極端天氣事件的發生數據等皆可以做為參考；接著完成脆弱度評估及成果報告，以便利害關係人進行應對的調適措施；除針對每種情境繪製一張表外，如需更多資訊將以成果報告呈現。

(4) 3.4 合適的風險分析等級

風險分析的目的係在支持決策大型投資及基礎設施的設計壽命，亦涉及分析氣候危害發生的可能性、後果及嚴重性，因此在分析過程中：(1) 利害關係人應參與其中並提供意見、(2) 風險分析項目中亦應加入「業務運作一切照舊」的情況以了解無任何措施下的風險、(3) 應確保根據階段 1 所定的目標分析危險源、影響區域等成因及潛在後果。

(5) 3.5 評估發生的可能性

在某些情境下，脆弱度會改變，這階段就需要評估發生危險或超過臨界值的可能性，包括超過臨界值的可能性是「幾乎可以確定」、「可能性高」、「可能」、「不大可能」、「幾乎不會發生」。

(6) 3.6 評估發生的後果

首先記錄事件發生的嚴重程度和影響性質，因氣候所帶來的危害會以許多方式影響，例如：物理性、開發、業務發展及環境風險，且利害關係人應參與確定和評估潛在的氣候變遷所帶來的影響及後果，以便在階段 4 歸納出可能形成雙贏的調適措施；如表 2.6-1 所示，接著進行影響分級及風險評估矩陣的製作以評估風險等級並做為制定調適策略的基本框架。

表 2.6-1 風險評估分級表

可能性 衝擊	幾乎不 會發生(1)	不大可能(2)	可能(3)	可能性高(4)	幾乎可 以確定(5)
災難性(5)	5	10	15	20	25
重大(4)	4	8	12	16	20
中等(3)	3	6	9	12	15
次要(2)	2	4	6	8	10
無關緊要(1)	1	2	3	4	5

風險等級	需要採取的調適行動
非常高	需要立即採取調適行動
高	可優先採取調適行動
中等	透過日常管理實施調適行動
低	透過內部程序來管理和監控風險

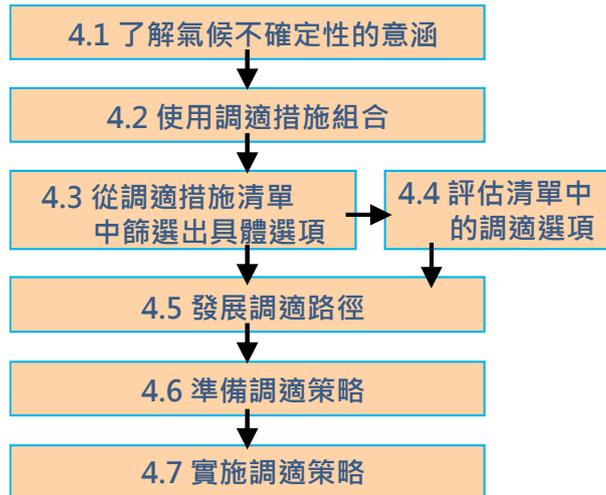
資料來源：The World Association for Waterborne Transport Infrastructure, Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways, 2020、本計畫彙整。

(7) 3.7 總結風險評估結果

準備一份關於風險評估過程及其結果的報告或其他形式的文件，以協助人員理解氣候變遷所產生的風險，並有助於選擇、評估和實施調適措施。

4. 階段 4：建立調適選項

決定最佳的解決方案時需考量如何解決氣候變遷所帶來風險和危害，甚至提出潛在的組合措施（如：結構、操作方式和體制），並指導該如何檢視和評估調適行動中可能的方案、選項。



資料來源：The World Association for Waterborne Transport Infrastructure, Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways, 2020、本計畫彙整。

圖 2.6.4 階段 4 (建立調適選項) 流程圖

(1) 4.1 了解氣候不確定性的意涵

調適措施應避免無法預期未來的變化，如果在不了解全盤的情況下做出決策，則可能會有設計不當、過度設計或投資等風險。

接著建立短期及長期的調適措施，短期措施屬於臨時性措施，至於長期措施則是要針對重大的風險或計畫而使用設計壽命長且昂貴的資產時。

未來的不確定性也需要融入到設計中，包括：過去認為冗餘的設計將能增加調適能力及提高整體壽命、結構或操作上容易出現故障，了解其後果將能適時修改設計或加入補強措施以提高彈性。

最後，為有效管理並及時反映不確定性的情況，應採用具經濟性及高效率的調適管理原則。

(2) 4.2 使用措施組合

措施組合須考量物理、社會及體制等 3 方面，說明如下：

- ① 物理：如結構，工程，技術，系統和服務。此類措施包括軟硬體工程、大自然為基礎的解決方案、維護和新產品。
- ② 社會：以人為本，包括營運、管理、教育及資訊和行為的相關措施。此類活動包括提高認知、培訓、預警、應對、應變計畫、業務修改和數據蒐集等。

- ③ 體制：包括治理、經濟、法律、規章、政策和計畫。此類別涵蓋法律和財務上的獎勵和罰則、製圖和分區、空間規劃以及設計或建築的標準等。

(3) 4.3 從可能的調適措施清單中篩選出具體選項

根據當地合適的標準進行措施的篩選，並確定首選或需更詳細評估的措施或組合（即選擇方案），篩選過程中不能因不熟悉或係為非常規解決方案而拒絕採取，通常結果會是一組潛在合適的清單，係考量關鍵資產、營運管理或系統上預期的影響，同時反映調適及韌性的能力。

(4) 4.4 評估清單中的選項

清單中的選項可能因為多種原因而需再進行更詳細的評估。

(5) 4.5 發展調適路徑

有些調適措施是相對簡單、低成本且輕易可達成的，通常也是調適路徑的第一步，至於較長期的措施，不是設定幾個月或幾年的期程，而是持續的監測，以做為預警或確定到達臨界值的時間點。

(6) 4.6 準備調適策略

調適計畫或策略是分析評估及提出建議後的具體總結，內容包括階段 1（界定關聯性及目標）、階段 2（氣候變遷預測及情境分析）、階段 3（評估脆弱度及風險）等資訊的評估及篩選過程和結果。

(7) 4.7 實施調適策略

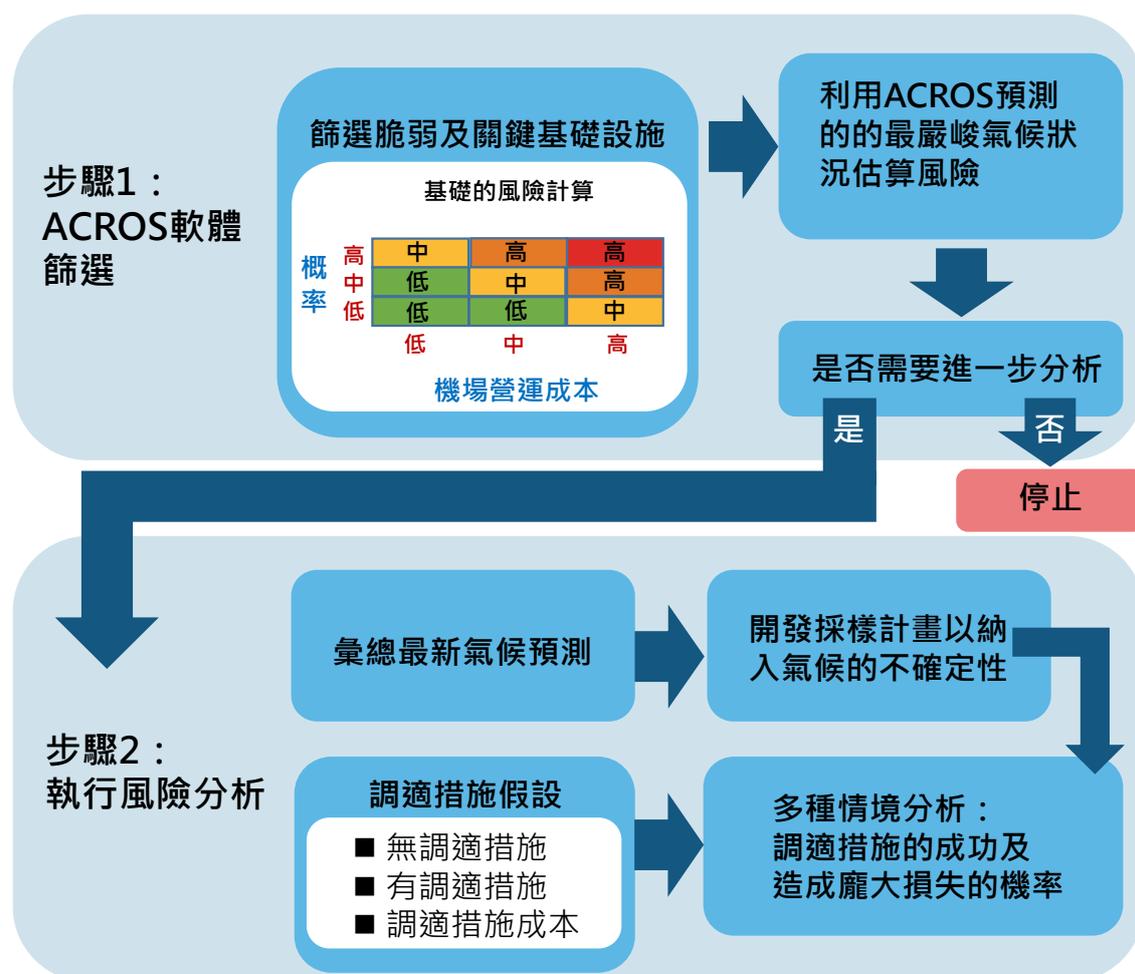
擬定調適策略後就要具體的實施。實施階段的活動與調適措施的類型相關，簡單的調適措施可用相對較少的成本及資源快速實施；至於複雜且較多關聯性因素的措施，則可能需要更多的計畫、準備和大量資源的投入方能實施。

對調適措施進行監控是必要的，既要避免成效不彰，也要為未來調適路徑中的行動提供決策依據，掌握執行效率也可對措施進行必要的調整；調適策略的成功尚需民眾的支持，還可能需要當地居民了解天氣事件所帶來的影響並一同響應或參與應變計畫，因為，有效的參與和溝通對於減少氣候變遷的衝擊和影響將至關重要。

2.6.2 空運系統

美國國家科學院 (National Academy Sciences, NAS) 於 2019 年出版《機場氣候韌性與成本效益分析》(Climate Resilience and Benefit Cost Analysis: A Handbook for Airports) [20]。該手冊目的係幫助機場人員進行評估以提高氣候變遷和極端天氣事件的抵禦能力，內容包括基礎設施項目的收益、成本和財務可行性評估。手冊中也介紹分析收益、成本和財務可行性的最新方法，這些方法可明確識別出長期氣候變遷所帶來的風險、不確定性及對機場基礎設施的潛在影響。

以下說明兩步驟氣候風險分析方法 (如圖 2.6.5 所示)，步驟 1 對大多數機場來說，在初始篩選氣候風險時都應是有用的工具，透過步驟 1 評估是否需進行步驟 2，在步驟 2 再進一步分析氣候風險及不確定性。



資料來源：National Academy of Sciences, Climate Resilience and Benefit-Cost Analysis: A Handbook for Airports, 2019、本計畫彙整。

圖 2.6.5 兩步驟評估方法-機場氣候風險流程圖

1. 氣候風險及其不確定性的評估方法

氣候風險以兩步驟分析方法（成本效益分析或財務可行性分析），說明如下：

(1) 步驟 1：ACROS 軟體篩選

彭薩科拉國際機場（PNS）主要威脅為高溫，如最壞的情形不會對機場或其用戶帶來負擔，則無需進一步分析，但如不確定衝擊所帶來的影響程度，可透過 ACROS 所產生的氣候數據進行成本效益分析（BCA）或財務可行性分析（FFA）分析影響程度（如表 2.6-2 所示）。

表 2.6-2 機場氣候營運風險檢視方法-以彭薩科拉國際機場為例

總結-歷史紀錄和計畫變更(有無擴建計畫)								
氣候向量	單位	2013	2030			2060		
		基礎	25百分位數	中位數	75百分位數	25百分位數	中位數	75百分位數
熱日	天/年	13.3	23.4	28.6	33.2	38.5	51.6	63.2
炎熱日		0.3	2	4.9	8.1	5.3	12.4	19.8
凍日		0.1	0	0	0.1	0	0	0.1
霜凍日		6.4	4.3	4.7	5.4	1.1	2.3	3.9
熱夜		173	185.8	188.1	191.8	205	210.9	220
潮濕日		161.8	173.3	177.9	186	190.5	202.2	222.2
下雪日		0	0	0	0	0	0	0
暴風雨日		78.4	77.3	78.9	80.3	75.6	79.6	83.1
強降雨日		11.1	10.7	11.3	11.8	10	11.6	12.9
乾燥日		18.9	19.2	19.6	20.4	19.6	20.7	22.7
海平面上升		0	0	0	0	0	0	0
降溫日		223.2	234.4	235.3	237.4	251.1	253.4	258.6
升溫日		77.2	67.7	68.9	70	53.3	56.4	59.3

資料來源：National Academy of Sciences, Climate Resilience and Benefit-Cost Analysis: A Handbook for Airports, 2019、本計畫彙整。

根據表 2.6-2 所顯示的數據，PNS 可能需要評估基礎設施項目是否需採用減緩衝擊方法，以滿足預期的高溫天氣所帶來的潛在影響；最多可分析 3 種特定情況：

- ① 中位數:炎熱天氣從 2013 年 0.3 天/年增加到 2030 年的 4.9 天/年和 2060 年的 12.4 天/年。
- ② 低標:炎熱天氣從 2030 年 2.0 天/年，增加到 2060 年 5.3 天/年。

③ 高標:炎熱天氣從 2030 年 8.1 天/年，增加到 2060 年 19.8 天/年。

以彭薩科拉國際機場（PNS）擴建跑道的計畫為例，使用成本效益分析或財務可行性分析方法評估該調適措施如何減少高溫導致的延遲，重點項目如下：

- ① 確定目標：擴建跑道的目標是避免溫度超過 100°F 時出現當飛機延誤情形。
- ② 定義基本狀況：對照組的基本狀況是機場不進行跑道擴建。
- ③ 定義擴建跑道情境：預測跑道擴建對於收益的減少。
- ④ 確定分析週期：假設調適措施的效果要到 2020 年才顯現且效果一直持續到 2060 年（因跑道設計壽命為 40 年）。
- ⑤ 決策標準之應用：
 - a. 益本比 >1 ：如方案淨收益（以跑道未擴建導致航班取消或減少後的折現值衡量）超過成本（建造、維護和營運擴建後跑道折現值），那麼此投資值得考慮。
 - b. 益本比 <1 ：如成本超過收益，則該方案目前沒有優勢。

(2) 步驟 2：執行風險分析

如步驟 1 的 ACROS 的分析結果可能對機場或使用者帶來更高的成本，或分析中的氣候壓力源與特定機場無關，則需進行其他分析方法，因此，需進入步驟 2 以取得更詳細的氣候數據。

① 蒙地卡羅模擬

基本流程就是在每個時間點填入隨機值（通常是 0 或 1），將能確定某段時間內發生不確定天氣事件的機率，如以彭薩科拉國際機場（PNS）為例，透過 1,000 次模擬後，結果如表 2.5-3 所示，所模擬的收益即是 D 欄，當淨現值大於（小於）0 時，代表益本比將大於（小於）1，淨現值（NPV）的正副值取決於模擬年度中炎熱天氣的發生次數；同時，將 1,000 個模擬結果取平均值，則平均預期的淨現值（NPV）為 50 萬美元，相對應的益本比平均為 1.07。

表 2.6-3 1000 次蒙地卡羅模擬分析結果

	基礎狀況 (無擴建機場計畫)	情境分析 (有擴建機場計畫)		淨現值
	A	B	C	D
模擬結果	未擴建下的損失	擴建後的損失	擴建的建設及營運成本	(A-B)-C
1				
2				
.				
.				
1,000				

	平均	最小值	最大值	標準差
計畫平均淨現值(美元)	50萬	-510萬	2250萬	450萬
平均益本比	1.07	0.37	3.75	0.56

資料來源：National Academy of Sciences, Climate Resilience and Benefit–Cost Analysis: A Handbook for Airports, 2019、本計畫彙整。

② 風險價值

風險價值 (Value of Risk, VaR) 的分析重點在於分析有無調適措施對淨現值的影響，結果如圖 2.6.6 所示，藍色線為無作為的結果，相比紅線 (採取減緩措施) 的確反映機場採取措施與否將造成不同程度的損失。



資料來源：National Academy of Sciences, Climate Resilience and Benefit–Cost Analysis: A Handbook for Airports, 2019、本計畫彙整。

圖 2.6.6 風險值比較圖

(3) 分析工具

分析工具應用脆弱度評估及評分工具（Vulnerability Assessment Scoring Tool, VAST）與機場氣候風險營運檢視（Airport Climate Risk Operational Screening, ACROS）軟體工具。

① 脆弱度評估及評分工具（VAST）

運輸資產在氣候壓力源下的某些特徵（如高溫、暴潮）可以做為暴露度、敏感度或調適能力的指標，因此，工具的使用方法係蒐集有關組成資產脆弱度各項指標，並將該指標進行脆弱度評分。

② 機場氣候風險營運檢視（ACROS）軟體工具

使用者可利用機場面臨的氣候壓力源之預測值進行分析，其估算值是以 4 到 7 個不同氣候模型為基礎，顯示的結果包括中位數、第 25 百分位數和第 75 百分位數，也會提供各氣候壓力源的信賴度，此分析工具做為一種檢視的機制，使機場可以快速評估未來各種地方性氣候措施所帶來的成效及變化。

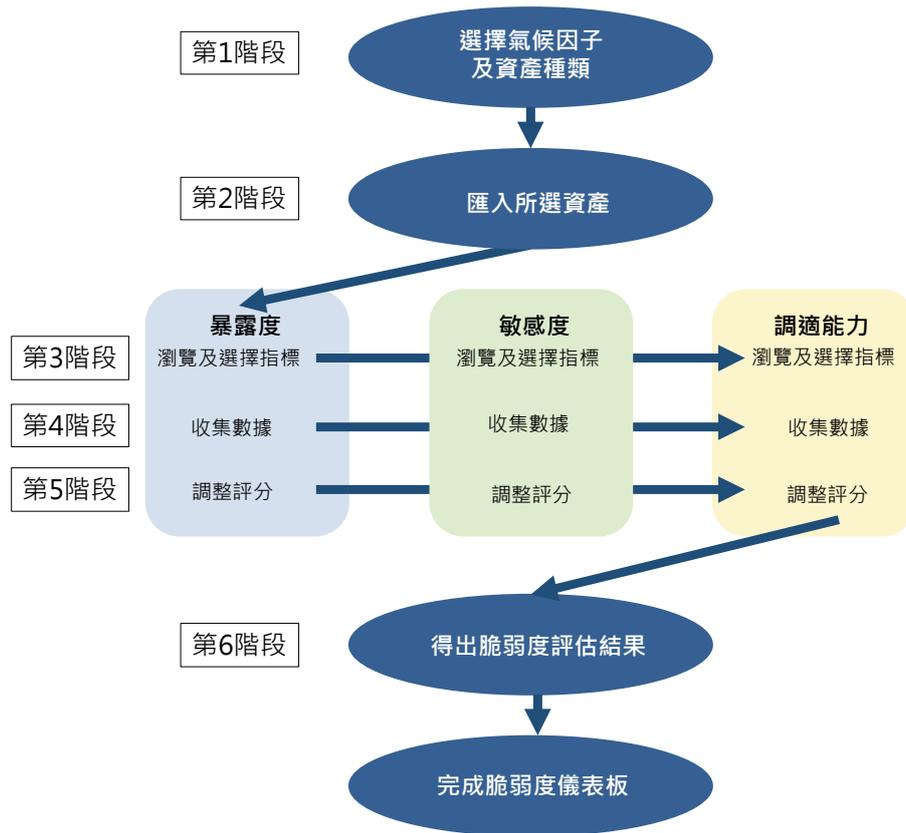
2. 潛在的氣候衝擊

討論氣候變遷對於機場的潛在影響，目的是要識別和評估機場資產及氣候變遷下的脆弱度。因此，確定影響的機場資產和基礎設施後，亦需評估面臨氣候變遷的脆弱度以及評估資產故障對於機場的影響程度。

(1) 評估面臨氣候變遷風險的脆弱度

確定關鍵的資產和營運後，接著評估潛在的脆弱度，在這階段可使用 ACROS 或 VAST 軟體來輔助評估，如圖 2.6.7 為 VAST 軟體分析架構，使用者可在其中列出相關資產並計算脆弱度分數。

步驟方法：首先由使用者確定相關欲加入評估的資產，然後將分數分配給 3 個脆弱度組合中的每一個指標：暴露度（exposure）、敏感度（sensitivity）及調適能力（adaptive capacity）；並可得出各項組合指標所得分數及加權平均值，以求得每項資產的脆弱度分數。



資料來源：National Academy of Sciences, Climate Resilience and Benefit–Cost Analysis: A Handbook for Airports, 2019、本計畫彙整。

圖 2.6.7 VAST 軟體分析架構圖

(2) 評估嚴重性

評估資產故障對機場營運所造成的後果，可使用 ACROS 軟體對每種資產的關鍵程度進行排名；另一種方法為財務可行性分析，列出相當數量的機場基礎設施項目，並確定每個項目的收益類型以藉此判斷特定資產對機場的重要性。

3. 應對措施與調適

(1) 識別和鎖定應對措施

使用 ACROS 軟體工具將氣候壓力源與機場資產所伴隨的脆弱度和嚴重性得分聯繫起來，列出潛在的調適選項。

(2) 調適措施

此份報告也提出不涉及基礎設施投資營運的調適措施包括：(1) 行動準備：採取早期的準備措施以降低風險、(2) 建立合作關係：與其他團體建立夥伴關係以減輕風險、(3) 購買氣候保險等。

2.7 小結

本節歸納氣候變遷對運輸系統的衝擊、前期調適計畫的重要成果、國際調適會議與國際組織的調適最新趨勢、運輸系統氣候衝擊評估作業的重點以及國外鐵公路的調適新措施與海空運設施的調適流程等，做為本計畫滾動檢討運輸系統調適策略之參考。

1. 氣候變遷對運輸系統的衝擊

高溫、強降雨、暴潮、強風、海平面上升等極端天氣事件威脅運輸系統的設施強度與營運可靠性，在氣候變遷的環境下，上述的極端天氣事件發生的頻率將增加，強度可能驟變，讓運輸系統面臨的建設與營運挑戰更大。

2. 前期計畫重要成果

本所自民國 102 年起辦理「鐵公路氣候變遷調適」系列研究，已完成風險評估方法與評估指標之探討，並透過脆弱度及危害度的等級分析，綜合評估鐵公路系統各路段之風險程度，同時配合建構調適資訊平台，展示鐵公路風險地圖，並逐年因應鐵公路設施管理機關（構）的使用需求擴充及強化平台功能。民國 106 年起因應《國家氣候變遷調適行動計畫（102-106 年）-維生基礎設施領域行動方案》^[21]即將屆期，且《溫管法》規定主管機關應提出調適策略，參考國外鐵公路系統調適作為、國內鐵公路系統之氣候變遷風險路段成因與國內鐵公路設施管理機關（構）之調適作為，研擬鐵公路調適行動計畫，並於民國 107 年滾動檢討鐵公路氣候變遷調適行動方案之內容，研擬海、空運系統的調適策略，建構完整的運輸部門氣候變遷調適策略。108 年度計畫為因應國際調適新趨勢、設施管理機關（構）之調適新方向以及科技之發展，滾動檢討及更新調適策略，更新風險地圖與強化調適資訊平台，並辦理調適平台教育訓練與調適知識教育訓練。

3. 國際調適會議與國際組織的調適新趨勢

COP25 針對調適所談論的議題主要專注在預算與基金上，包含將國內支出預算和氣候變遷行動結合，促進國際與國內的融資，以累積足夠的基金推動政府調適計畫優先事項與調適工作需求；在資金有限的狀況下，與民間和地方社會建立連結，以取得更好的調適工作成果且應積極邀請私部門參與調適，如研發輔助調適作業的新科技、適應氣候變遷環境的設備等。

另外一個趨勢則是關注如何確保調適策略的執行與其效果的達成，例如透過建立調適工作專案生命週期並投資於專案監測、評估和學習系統，儘量使專案產出超過原先制訂之目標；在調適執行上，除調適本身，也結合減少災害風險的方法，以處理風險、減輕脆弱性並促進可持續發展為核心的投資。

此外，一個持續討論的議題則是如何加強利害關係人的參與。私部門與公部門需攜手展開有意義且具有包容性的接觸與溝通，對象包含各種利害關係人以及婦女、青年、原住民以及貧困和弱勢群體等，以確保調適工作和韌性建設能以人為本。考慮在教育、培訓、公眾意識方面進行重點投資，因為在這些領域的投資可以促進私部門（特別是發展中國家的私部門）採取廣泛的調適行動。

4. 國際氣候變遷調適標準

國際標準化組發布了全球第一項針對氣候變遷調適的標準：ISO14090 氣候變遷調適—原則、規定與指導，說明組織進行調適需注意之事項與工作，以利運輸系統與其他領域組織可參考此指導研擬調適計畫，並說明如何將調適思維與措施導入至組織與跨組織。此標準可協助組織辨識與瞭解氣候變遷的影響與不確定性並用於支援決策，除了管理風險外，也可從中利用氣候變遷所帶來的機會。

5. 務實評估氣候變遷對運輸系統的風險以利導入調適作為

因應氣候變遷風險提高並鑒於運輸系統對於經濟社會活動的重要性，及運輸系統本身的複雜性，聯合國歐洲經濟委員會於 2020 年發佈《運輸網絡及節點的氣候變遷衝擊與調適》。該報告檢討過去各成員國於運輸系統氣候變遷衝擊分析及風險評估之作業缺口，並提出未來調適作業執行之建議方向，尤其強調應從基本面加強建立氣候資訊、蒐集分析運輸相關數據以及建立實用的評估方法及工具，以利將調適作為導入規劃、設計及投資決策程序之中。就調適策略而言，將強調調適策略的監控、評估與學習機制的建立，其即是透過持續回顧、回應與因應新的狀態、環境、方法與方案等，採用滾動學習的方式，以調整因應之方式，維持調適措施的彈性。

6. 鐵公路氣候變遷調適新趨勢

在鐵公路的氣候變遷調適趨勢上除可看到韌性的概念持續加深，一個重要的概念即是改變思維，將韌性的概念在規劃設計階段就納入，給予規劃設計足夠的資源與重視，避免受到天氣事件傷害後的復建。另一重要的趨勢則是強調以自然為本與永續發展的新建、改建計畫與調適作為。

因資源有限，在推動調適計畫上需考量其優先性，故透過經濟效益的評估方法，納入氣候變遷的情境，以估算在不同氣候情境下的天氣事件強度對設施可能的衝擊，計算成本與執行調適策略的效益，以進行決策。

7. 海空運系統調適計畫流程

(1) 海運

海運調適策略研擬流程分為 4 階段。階段 1 除完成氣候變遷調適目標及規劃範圍，亦需完成關鍵資產清單，同時，利害關係人的合作也相當重要，將能避免利益及工作上的影響。階段 2 除了解氣候資訊之需外，基礎氣候資訊之掌握為重點，其中數據資料需蒐集既有環境條件和極端氣候的歷史事件，接著，透過情境分析掌握及了解未來氣候變遷及影響程度。階段 3 的重點為如何識別及量化氣候的危害，了解敏感程度後，除進行氣候變遷風險分析及分級外，更需探討氣候危害發生的可能性、後果和接受程度。階段 4 旨在形成合適的調適策略並實施，同時掌握實施成效，除避免效率不彰也為未來決策提供依據，最後，調適策略的成功亦需民眾參與，有效的溝通能增加調適措施的成效。

(2) 空運

空運的調適流程以美國國家科學院(NAS)所研擬之機場參考手冊為例，機場人員得以氣候風險、成本效益、脆弱度等分析結果進行決策。手冊提出以兩步驟方法分析機場在氣候變遷環境下的營運風險，以 ACROS 軟體檢視氣候壓力源，並輔以成本效益分析(BCA)及財務可行性分析(FFA)確定措施的效益與影響程度，步驟 2 則進一步以蒙地卡羅及風險值(VaR)分析方法確定風險影響的可能性及調適措施的效益。

8. 調適策略滾動檢討與調適業務推動之借鏡參考

(1) 將國內支出預算和氣候變遷行動結合，爭取足夠的資金推動政府調適計畫優先事項並滿足調適工作的需求

國內的調適計畫目前尚未有專門的調適預算或基金做執行，都還是以公務預算方式編列，因預算有限，韌性的行動計畫與其他面向的行動計畫競爭著資源，受預算研擬的流程與調適概念及知識尚為主流化的種種限制，且調適行動計畫的相關效益亦較難反映，導致調適預算的推動有所困難，故需政府政策方向的介入與領導，推動調適預算研擬的法源依據並加強調適的主流化，以爭取足夠資金推動調適。

(2) 調適思維的推動與主流化

除了政府的領導，設施管理機關（構）的認同與向心力一樣重要，透過工作坊、培訓、訂定規範等，擴大機關（構）對調適與系統韌性的認識與其重要性的認同。為擴大認同性，機關（構）也應適時在對內與對外的場合上宣導其在調適上的相關作為。

(3) 確保調適技術是最新且發展完善

在氣候變遷環境下，極端天氣事件發生的頻率越來越頻繁，強度也越來越強，在這樣的環境下，數位化與應用新的調適技術與科技為重要的輔助，以能更完整與快速的掌握系統狀態，故需確保調適技術與時俱進。

(4) 建立調適計畫生命週期的計畫監測、評估與學習機制

為確保調適計畫的執行持續符合目標並可做為後續執行他項調適計畫時之借鏡，參考 COP25 會議與 ISO 14090 的啟發，透過持續的監控、評估調適計畫的執行，並適時調整以符合計畫目標。另外，於計畫結束後，透過學習機制分析調適計畫的成果與可學習處，以利後續調適計畫的借鏡。

(5) 強化公私合作及利害關係人參與

近年來先進國家氣候變遷之調適作為針對建立公、私部門以及利害關係人間的合作關係以及凝聚彼此共識的重要性越發重視，除了共識凝聚外，利害關係人亦可協助蒐集或提供氣候變遷調適所需之相關資料，利害關係人之溝通與合作並視之為有效落實調適計畫的基礎。

(6) 應用適合的程度與規模執行調適，以最大化其效果

ISO 14090 的原則提到調適計畫需應用適合的程度與規模，即在調適時需思考可承受的氣候衝擊與風險等級，是否需進行調適計畫以及計畫的執行程度，並且需考量技術、人力、資金等資源，以確保調適方向訂定上的適用性，達到其效果。

(7) 以運輸系統的價值鏈提升系統的整體韌性

以運輸系統的價值鏈，從評估與構想、設計與建設以及營運與維護的各階段都將韌性納入考量。例如新建設施如果在建設目標與設計方案中就納入韌性的概念與考量可將系統的韌性最大化，設計與建設階段思考應用更強韌的材料與設計標準確保設施可承受所處地區未來氣候變遷環境下的衝擊，並可用設計方法在未來如設備受到衝擊受損時可被簡易修復或進行更新。營運與維護階段則需視設備的狀態設定維護的優先順序與設定極端天氣事件衝擊時的相關應對。

(8) 以經濟的角度量化調適計畫的成本效益

因資源有限，故調適計畫的執行優先性決策為重要的工作，透過量化調適計畫可減少的維護與修繕成本可鼓勵設施管理機關(構)投入韌性提升作為，並協助其決定調適計畫執行的優先順序。將氣候變遷納入成本效益評估的作法首先考量氣候模式與情境。為確保成本效益評估的準確性，需依據計畫所在區域選取合適的氣候情境。在情境年份的選取上也需考量設施的壽年進行評估。成本效益的考量主要係「避免的損失」。

(9) 衝擊評估方法為重要的調適基礎

衝擊評估辦法則可依據組織的需求選擇評估方法，如風險評估、脆弱度評估與臨界值評估，依據選擇的評估方法有不同的評估基準與考量。

(10) 數位資料庫與一致化為調適計畫的重要基礎

衝擊評估與調適計畫的成本效益評估皆需要大量資料庫與數位資料的支持，需定期做運輸系統、環境、氣候等的數據分析與調查，並儘量以電子化的方式自動蒐集與發布數據，以提升資料蒐集的效率，資料的完整性對調適計畫上所需的相關分析與風險管理作為都至關重要。此外，資料的一致化可節省資料蒐集與處理上所需花費的人力與時間。

(11)鐵公路改善計畫將氣候變遷納入可行性評估

考量氣候變遷對運輸系統的風險，改善計畫需納入調適的重要性，故斯洛伐克的鐵道新建計畫在可行性評估規定需辨識鐵路系統的氣候風險與脆弱度，以交通與建設部出版的《評估氣候變遷對重大運輸計畫的衝擊方法手冊》評估風險，並據以提出氣候風險因應的工程與營運措施。雖本計畫的調適策略已建議國內於可行性評估與綜合規劃階段即須評估氣候衝擊影響，並研擬因應策略，但在評估方法上並無一個依循的標準或手冊，此可做為本計畫滾動更新調適策略的借鏡。

(12)以自然為本的新建、改建與調適作為

許多國家近年來逐漸意識到工程作為的限制，而自然為本的平衡與結合可讓環境逐漸回復到其自然的調適能力，形成在氣候變遷環境下的天然防護。以自然為本的解決方案可透過自然循環系統增強工程面對自然衝擊的韌性且等於或低於工程工法的成本。在策略調整上，擬納入在新建與改建計畫，如周邊環境與條件許可，可適時考量納入以自然為本的調適作為。

(13)風險評估需盤點資產特性與關聯性

氣候變遷環境下的風險評估作業需辨識關鍵資產、營運、系統及之間的關聯性，可有助於了解和發展在氣候變遷調適下的資產管理。

(14)開發風險評估的輔助工具

美國在空運的風險評估上應用 ACROS 或 VAST 軟體評估資產的暴露度、敏感度及調適能力，並依據評估結果研擬對應的調適措施。國內空運系統在風險評估的輔助工具上相對缺乏，建議可研發或運用，以更完整掌握資產的風險狀態。

第三章 鐵公路系統調適新科技運用趨勢

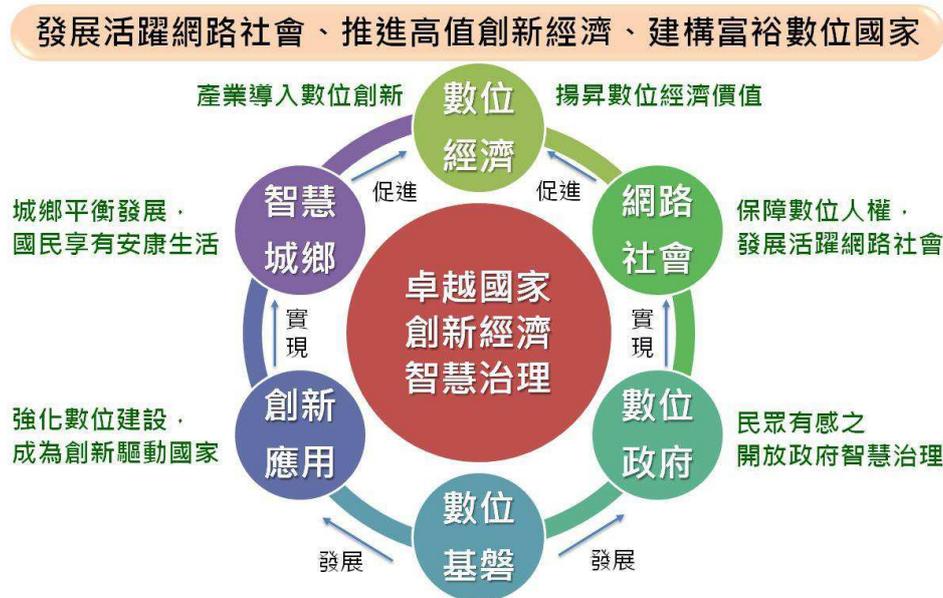
本章分為 4 節，3.1 節藉由回顧國家科技發展政策以掌握未來國內調適領域運用新科技的機會；3.2 節蒐集國內鐵公路設施管理機關（構）應用新科技之案例以掌握國內趨勢；3.3 節則蒐集國外鐵公路應用新科技於調適案例，最後，於 3.4 節綜整本章重點並提出國外新科技於國內調適輔助運用上之建議與注意事項。

3.1 國家科技發展政策

本節回顧我國重要科技發展政策及交通科技產業發展政策，包含《數位國家·創新經濟發展方案（2017-2025 年）》^[22]、《前瞻基礎建設計畫》^[23]、《國家科學技術發展計畫（106 年至 109 年）》^[24]以及《2020 交通科技產業政策白皮書》^[25]等計畫，藉以掌握未來國內科技的發展重點，供未來運輸系統在氣候變遷調適新科技發展及應用之參考。

1. 《數位國家·創新經濟發展方案（2017-2025 年）》（105 年）

該計畫以「數位國家、智慧島嶼」為總政策綱領，並以「發展活躍網路社會、推進高值創新經濟、開拓富裕數位國土」為發展願景（圖 3.1.1）。



資料來源：行政院，數位國家·創新經濟發展方案（2017-2025 年），民國 106 年。

圖 3.1.1 數位國家·創新經濟發展方案之發展願景

規劃發展 7 大主軸行動計畫，以達成願景：

- (1) 主軸一：數位創新基礎環境。
- (2) 主軸二：數位經濟躍升。
- (3) 主軸三：網路社會數位政府。
- (4) 主軸四：智慧城鄉區域創新。
- (5) 主軸五：培育跨域數位人才。
- (6) 主軸六：研發先進數位科技。
- (7) 主軸七：營造友善法制環境。

其中，「主軸四：智慧城鄉區域創新」下的「智慧城鄉區域創新行動計畫」，與因應氣候變遷的相關策略為「運用智慧聯網科技，建構國民優質生活空間」，採取之措施如下：

- (1) 普及數位空間科技應用，提升國土資訊運用效益：為提升國土資訊使用效益，健全國土空間資訊管理、維護及流通機制，於測繪圖資更新維護上導入 ICT 技術，將可用性、高精度、高更新頻率之地理空間資料迅速提供各界，以提升資料價值，促進政府施政、生活服務及產業發展等領域發展。
- (2) 佈建大規模智慧環境感測系統，維護環境品質：為緩解人文與自然環境變遷所帶來的衝擊，導入科技應用，佈建大規模智慧聯網環境感測系統，除了空氣、水質與水體、土壤與廢棄物污染等智慧監控之外，亦涵蓋智慧防災、智慧國土、智慧水資源與智慧運輸等領域。
- (3) 普及全國社區安全防護系統，保障國民安全：建置全國社區安全防護系統，運用智慧連網感測技術、影像分析、巨量分析、雲端服務平臺等資通訊技術，以預測、預防和降低災害，從過去意外事件發生後的補救，延伸到即時採取有效的應變和事前預警即將發生的公共安全危險，提高突發事件或意外之回應機制，降低安全防護整體營運成本，並更有效的分配資源，做為各地方安全防護管理之決策分析依據。

2. 《前瞻基礎建設計畫》(106 年)

《前瞻基礎建設計畫》包含 8 大建設計畫：(1) 建構安全便捷的軌道建設、(2) 因應氣候變遷的水環境建設、(3) 促進環境永續的綠能建設、(4)

營造智慧國土的數位建設、(5) 加強區域均衡的城鄉建設、(6) 因應少子化友善育兒空間建設、(7) 食品安全建設以及 (8) 人才培育促進就業建設。

其中 (4) 營造智慧國土的數位建設為未來科技發展的重點政策，係以未來數位藍海為策略思維，為人工智慧 (Artificial Intelligence, AI)、擴增實境 (Augmented Reality, AR) / 虛擬實境 (Virtual Reality, VR)、智慧機器人、無人載具等前瞻應用奠定基礎，其願景為：「實現超寬頻網路社會生活、營造智慧國土國際典範、成為全球數位科技標竿國家」。

「數位建設」計畫將推動空氣品質監測、水資源管理、防救災等智慧環境保護服務。在因應氣候變遷災害頻繁化的預警與防治上，透過「數位建設」下的「建構民生公共物聯網計畫」^[26] (圖 3.1.2) 應用 AI 及 IoT 技術，建置各項智慧生活服務系統。相關效益包含：

- (1) 結合公私力量廣布空氣感測器，預計政府支應經費由直接布建 10,200 點，並由民間社群布建 7,100 點，以掌握我國環境資訊，達到後端環境資訊公開及加值應用之需求。
- (2) 改建現有災害情資服務平台，擴大對中央與地方及災防產業的服務範圍，將其提升為災防情資產業服務平台，目標為提供災防資料、資訊的服務可用性達 99%，並建立數位化防災示警產業之完整應用鏈。



資料來源：科技部/環保署/交通部/內政部/經濟部，建構民生物聯網計畫 (核定本)，民國 106 年。

圖 3.1.2 建構民生物聯網計畫之目標

3. 《國家科學技術發展計畫（106 年至 109 年）》（106 年）

為推動科技發展，科技部依據《科學技術基本法》之規定，每 4 年訂定「國家科學技術發展計畫」做為推動科技政策與研究發展之依據。最近一期為 106 年至 109 年，訂定 4 項目標：(1) 創新再造經濟動能、(2) 堅實智慧生活科技與產業、(3) 育才競才與多元進路、(4) 強化科研創新生態體系，計包含 18 項策略、57 項重要措施，由科技部、經濟部、教育部等 21 個機關（單位）共同執行。

我國為天然災害高風險的區域，如何應用科技強化流域災害的預警與安全管理機制，發展智能科技強化國土抗災能力以及如何應用 IoT 建立智慧防災的環境等，都是科學技術發展與應用的重點。

目前全球的科技發展趨勢以數位化與智慧化為主，而既有的技術，如 AI、大數據、IoT 等，也都朝向跨領域之研發與多面向之應用。就該計畫之目標觀之，與氣候變遷相關之科技運用為目標二「堅實智慧生活科技與產業」，針對災害防治的遠景為：提升流域、國土坡地與自然資源之耐災能力，打造永續安全的都會生活圈，發展智慧防災科技。

交通部 106 年至 109 年的科學技術發展目標包含：

- (1) 建構運輸部門節能減碳政策決策支援系統；
- (2) 擘劃運輸部門因應氣候變遷相關施政藍圖；
- (3) 建構全臺智慧型運輸系統，提供安全、優質、流暢及節能低碳的永續運輸環境；
- (4) 研發港埠、橋梁及山區道路災害防救科技，提升港埠及道路運輸效能；
- (5) 研發綠色港埠新技術，提升航行安全及港埠營運效率與品質。

該計畫也提及，配合產業創新重點政策，推動精緻化氣象（候）資訊智慧應用服務。在國土與學術的應用層面上則透過強化海象觀測設施與預報技術，提升海域防災環境服務。

4. 《2020 交通科技產業政策白皮書》（109 年）

《2020 交通科技產業政策白皮書》係經過召開 9 場大型論壇、22 場產業小組諮詢會議以及 2 場交通科技產業會報委員會議，徵詢了國內多位產官學研專家學者意見與共識後成形，規劃未來交通科技產業將以 3 大類型：(1)

路運及人本交通、(2) 海空運及物流服務與 (3) 新創交通科技及服務，共 10 大產業為未來發展重點 (圖 3.1.3)，預計投入軌道建設 1 兆 9,700 億、公共運輸服務升級計畫 300 億、智慧運輸系統發展建設計畫 60 億、海空港及物流園區計畫 1306 億以及環島自行車道升級計畫 16 億的預算。

該計畫透過指認目前的產業發展課題與未來目標，訂定發展策略與行動方案，除了運用科技升級交通系統之硬體設施，如 5G 網路、感測器、數位化建築等為重要的基礎設施之外，在軟體面上則透過資料庫的建立蒐集與存取資料，進行資料串接、數據分析與資料分享等功能，並以 IoT 與 AI 數據分析的方式達到智能監控與自動化等作為。



資料來源：交通部，2020 交通科技產業政策白皮書，民國 109 年、本計畫繪製。

圖 3.1.3 科技產業政策白皮書主軸

鐵路規劃的科技發展方向為：(1) 推動技術研發及檢測驗證，建立產業自主能力、(2) 解決廠商參標問題，整合擴大市場規模與採購需求與 (3) 善用我國資通訊產業優勢，推動鐵道運輸智慧化。

綜合上述的目標，在推動技術國產化上除了可降低採購成本外，加強廠商間的交流，也可讓設備更適用於國內環境。制定智慧鐵道系統架構及規範，推動鐵道領域知識與智慧 4.0 科技之相互學習與整合，逐步將行動及網路通訊、IoT、雲端運算、大數據、AI 等 4.0 科技導入鐵道系統，並爭取鐵道專用頻寬及建立智慧鐵道產業發展溝通平台與獎勵措施。

在推動設施上，臺鐵設備的國產化與本土化為發展重點，城際快鐵則以車輛、號誌、電力、軌道效能提升為重點。

3.2 國內鐵公路新科技運用概況

本節蒐集國內鐵公路設施管理機關(構)，包含台灣高鐵公司、臺鐵局、公路總局以及高公局等運用新科技於之實際案例。在新科技應用上可發現多數的目的為防減災與營運效能提升，但技術做應用上的轉換即可用於調適。

3.2.1 鐵路系統

1. 台灣高鐵公司

台灣高鐵公司之智慧鐵道發展政策主軸如圖 3.2.1 所示，主要以提升能量 (capacity)、降低成本 (cost)、節能減碳 (carbon emission)、提升顧客滿意度 (customer satisfaction) 4 大面向為發展主軸，擬定智慧鐵道的創新策略目標，投入各項資通訊技術 (ICT) 研發與智慧運輸 (Intelligent Transportation Systems, ITS) 應用^[27]。

台灣高鐵公司自行研究或委外研究包含營運、維修、票務、行銷、資訊技術等多項計畫，近年來除了創新各項服務之外，在營運管理方面亦突破日本原廠技術限制，已陸續推出多項服務及效率強化機制。



資料來源：任以永，台灣高鐵 ITS 發展經驗與未來展望，土木水利第四十五卷第二期，民國 107 年。

圖 3.2.1 台灣高鐵的智慧運輸發展主軸

因應氣候變遷環境下日漸頻繁的極端天氣事件，台灣高鐵公司於邊坡監測、邊坡預警與管理以及旅客資訊服務等面向均導入新科技輔助，藉以強化系統之氣候韌性。說明如下：

(1) 運用地面光達雷射掃描儀監測沿線邊坡

台灣高鐵於民國 108 年引進地面光達雷射掃描儀（圖 3.2.2），掃描儀將旋轉鏡頭掃描的數據傳到電腦，觀察每個沿線邊坡的傾斜狀況。每處每年進行 1 次的掃描，逐年比對邊坡位移數據，以地面光達雷射掃描儀取代傳統需靠人力檢測邊坡的不便性與風險，減少 5 成人力及檢測工時。

由於高鐵路線在南部皆是高架化路段，目前掃描儀建置於全線共 10 處，皆位於北部。



資料來源：<https://tw.news.yahoo.com>、<https://udn.com>

圖 3.2.2 地面光達雷射掃描儀

(2) 導入大數據分析技術開發邊坡預警與管理系統

依據機關訪談，台灣高鐵為有效管理邊坡，高鐵在營運前首先完成邊坡的風險分級，依其對營運安全影響之嚴重程度分 A、B、C、D 共 4 級，邊坡安全管理執行策略分 3 部分，(1) 專業巡檢與風險再評估、(2) 安全監測以及 (3) 改善工程。

每年於颱風季節後（11 月至次年 4 月），由土建設計工程處派遣大地專業工程人員以目視及步巡的方式辦理邊坡檢查，工作重點為記錄邊坡異狀、研判可能原因以及對高鐵營運安全影響之評估，依評估結果重新檢討風險分級，必要時將辦理進一步之監測、調查或改善工程。

為進一步完善邊坡的管理，台灣高鐵公司於 107 年-111 年建置以降雨強度為導向之邊坡安全預警系統。台灣高鐵公司彙整民國 103 年至 107 年之歷史相關數據，規劃建置預測模式與暴雨與邊坡安全預警系統，並透過目前高鐵沿線邊坡所設置之雨量計資料，以大數據分析協助管理邊坡，依不同降雨強度與總雨量研判邊坡發生坍塌之可能性，並評估對高鐵營運之影響，提前進行管理與防護。相對於既有的 DWS（Disaster Warning

System) 系統係於邊坡滑動觸碰到邊坡偵測感測器後方通知列車的作法，可更提前執行相關的預防作為。

(3) 結合 AI、IoT、大數據技術開發智慧型旅客資訊系統

高鐵公司亦規劃導入新一代智慧型旅客資訊系統，未來在系統維護、修改及新功能的衍生開發上，都將可充分符合高鐵公司未來的營運需求；此外，系統設計也更具彈性，可支援多組電子看板顯示器，若遇特殊狀況，需進行臨時性營運調整，包括行控中心及各車站都可透過通訊控制台立即將最新的乘車資訊輸入系統，旅客便可以透過電子看板，隨時掌握最新營運訊息，及早規劃後續行程。

高鐵公司將透過新一代的「高鐵旅客資訊系統」，結合 AI、IoT、大數據等各項創新科技，發展各種系統衍生功能之運用。規劃陸續開發包含天候狀況（例如：颱風、豪雨）之警訊提示與安全宣導、手機推播列車運行資訊（例如準點、延誤等）的功能。

專案的第一期計畫將導入至臺北、板橋、桃園、新竹、臺中、嘉義、臺南、左營等站；南港、苗栗、彰化、雲林等 4 站則列為第二階段計畫。

2. 交通部臺灣鐵路管理局導入 ICT 科技監控管理鐵路邊坡

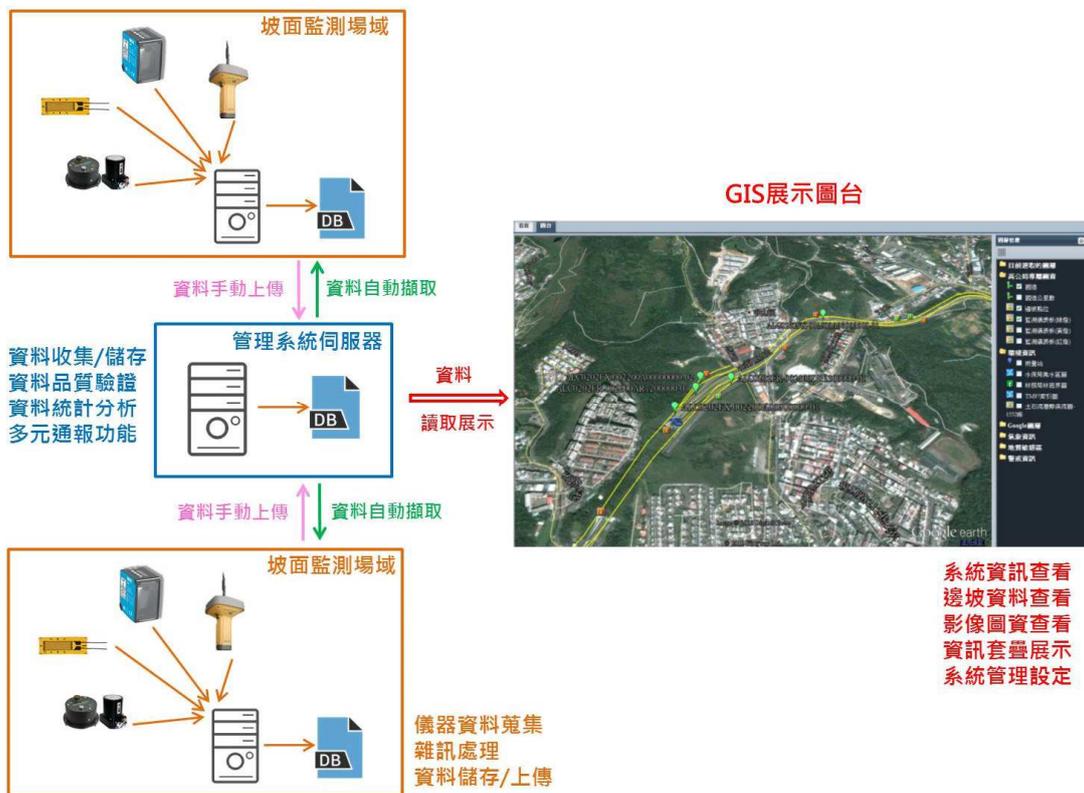
臺鐵局目前執行的鐵路行車安全改善六年計畫之重點包括：(1) 建立邊坡分級及安全性評估機制、(2) 訂定鐵路邊坡養護手冊、(3) 規劃「鐵路邊坡全生命週期維護管理系統」、(4) 規劃預警系統及應變決策機制、(5) 諮詢及部分審查邊坡全生命週期設計及統包案有關制度面協助、(6) 修訂相關規章以及 (7) 辦理教育訓練^[28]。其中，已完成邊坡分級及安全性評估機制與養護相關流程、鐵路邊坡養護手冊（草案）、「鐵路邊坡全生命週期維護管理系統」規劃、預警系統及應變決策機制規劃等項目，目前該計畫規劃之維護管理系統統包案正執行中。

其中，「鐵路邊坡全生命週期維護管理系統」使用 WebGIS 圖台，記錄邊坡巡檢養護紀錄、CCTV、地滑儀與水量計等監控資料、可進行即時資訊的套疊，做為養護決策的依據，並於異常狀況時進行自動通報。



資料來源：臺灣鐵路管理局，民國 108 年。

圖 3.2.3 鐵路邊坡全生命週期維護管理系統功能



資料來源：臺灣鐵路管理局，民國 108 年。

圖 3.2.4 鐵路邊坡全生命週期維護管理系統架構

3.2.2 公路系統

1. 交通部公路總局

公路總局在邊坡管理上運用遙測技術、導入科技巡檢、定量分級管理，並依據邊坡狀況籌編改善計畫。在邊坡管理制度上依不穩定徵兆明顯性將邊

坡「定性」分為 A、B、C、D 級 4 個等級進行管理，均已建置於公路總局邊坡資訊管理系統內。針對高危害度邊坡（A、B 級邊坡）利用「落石災害評分系統（RHRS）」進行細部「定量」評估，篩選出「優先關注邊坡」納入省道改善計畫（108 年-113 年）逐年辦理進階檢測補強或整治，並輔以科技巡檢技術，研判邊坡危害因子，以達到事先預防整治，增加邊坡在氣候變遷環境下的穩定性。

2. 高速公路局

高速公路局為輔助高邊坡巡檢、高架橋墩橋梁巡查¹、交流道車流量觀測及新建工程施工記錄等，導入無人機，降低巡檢人員的負擔，增加工作效率。



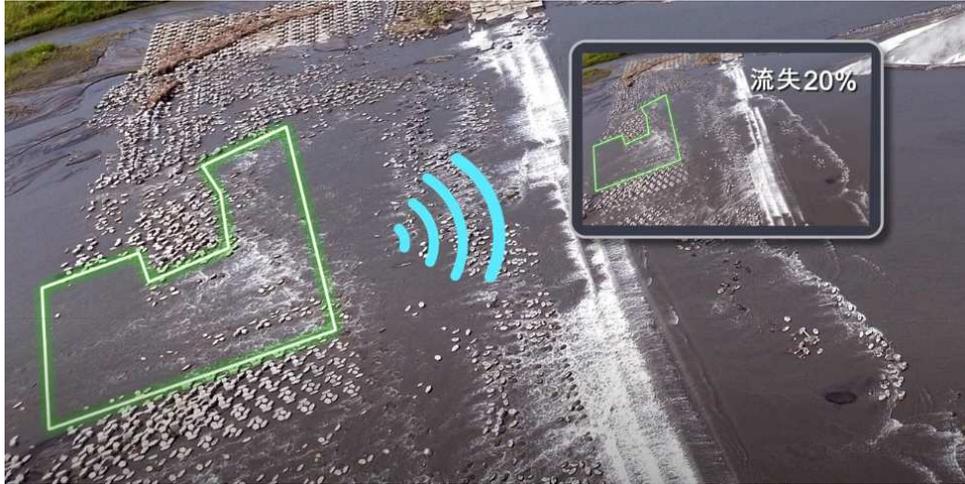
資料來源：高公局，民國 108 年。

圖 3.2.5 應用無人機進行高坡度邊坡巡檢

除無人機，透過大數據的蒐集、分析及利用，AI 技術益發成熟，高公局也已開始研議未來將 AI 結合無人機，用於確保設施營運韌性，應用方向如：

- (1) 透過無人機定期或於颱風與洪水後，空拍中沙大橋上下游河道，運用 AI 疊合河道變遷影像，分析河道變化，做為橋梁相關補強工程的基礎資料。另透過無人機拍攝下游處潛堰固床工，以 AI 影像辨識分析固床工露出狀況，產出量化監測數據（圖 3.2.6），掌握固床工妥善程度。

¹ 高公局管理的橋梁總數為 2,446 座，總長 868.8 公里，部分的橋段高達 70 公尺，人力的巡檢作業耗時且具潛在風險。



資料來源：高公局，民國 108 年。

圖 3.2.6 應用無人機結合 AI 辨識固床工狀態

- (2) 以無人機拍攝橋梁，配合 AI 影像辨識，快速篩檢橋梁是否有裂縫及白華等劣化情形；空拍國道邊坡影像，透過 AI 分析比對前後照片以偵測異常情形，再進一步配合人員實地觀測，大幅降低資料取得與記錄之人力使用。
- (3) 輔助工程規劃，透過無人機拍攝的影像進行空中三角測量作業，產生立體模型後再進行地形圖測製作業，套疊無人機拍攝的正射影像後，可輔助工程規劃的可適性與便利性。
- (4) 運用無人機與光達進行 3D 點雲模型與量測，可應用於環境變化評估、輔助養護作業，並做為規劃設計的基礎資料（圖 3.2.7）。



資料來源：高公局，民國 108 年。

圖 3.2.7 3D 點雲模型與量測示意圖

3.3 國外鐵公路調適新科技運用案例

本節蒐集分析國外鐵公路系統因應極端天氣事件強化調適能力之新科技運用案例，供國內鐵公路設施管理機關（構）參考。

3.3.1 案例蒐集範疇界定

調適系列研究自民國 108 年開始探討應用新科技提升鐵公路系統調適能力議題，108 年度將探討的主軸分為新材料、新工法與新科技管理 3 者（詳見 2.2 節）。

本計畫持續探討新科技可提供之調適輔助，但因「新科技」所指涉之概念範疇極為廣泛，加以國外鐵公路因應極端天氣事件強化調適能力之科技運用案例不勝枚舉，因此，本計畫首先界定案例蒐集範疇，以提高其參考價值。

本計畫有關國外新科技運用案例蒐集之範疇界定方式說明如下：

1. 依循國家科技政策，優先蒐集數位智慧科技領域之運用案例

在新科技方面，依循國家科技政策，考量我國科技產業發展優勢條件，以無人機、3D 掃描、感測器、大數據分析、AI、IoT 等數位智慧科技為主。

2. 以極端天氣事件類型與設施型式進行衝擊程度交叉分析，針對衝擊相對明顯的情形進行新科技運用案例蒐集

(1) 極端天氣事件類型界定

以臺灣地區相對較可能面臨的 5 大天氣事件為範疇，包含：(1) 強降雨、(2) 強風、(3) 暴潮、(4) 高溫以及 (5) 海平面上升。

(2) 鐵公路設施型式界定

設施型式界定為：(1) 平面、(2) 高架、(3) 地下及 (4) 隧道 4 種。

透過交叉分析研判不同鐵公路設施型式遭受各種極端天氣事件衝擊的相對程度，針對衝擊較明顯的情形（參見表 3.3-1）蒐集新科技運用案例。

表 3.3-1 不同鐵公路設施型式面臨極端天氣/氣候事件之衝擊分析表

設施型式		極端天氣/氣候事件類型				
		強降雨	強風	暴潮	高溫	海平面上升 ²
鐵路	平面	√	√	√	√	√
	高架	√	√	√	√	
	地下	√		√	√	√
	隧道	√		√	√	√
公路	平面	√	√	√	√	√
	高架	√	√	√	√	
	地下	√		√	√	√
	隧道	√		√	√	√

資料來源：本計畫彙整。

3. 依循設施全生命週期概念，著重於規劃、設計、施工以及營運維護階段之調適新科技運用案例蒐集

公共建設全生命週期可劃分為規劃階段、設計施工階段、營運維護階段與拆除再利用階段（圖 3.3.1）。面對極端天氣事件衝擊，鐵公路系統可於規劃、設計施工以及營運維護階段加強其調適能力，故本計畫著手蒐集前 3 階段之調適新科技運用案例，並依鐵公路設施機關（構）訪談所蒐集之調適課題，依課題與階段彙整案例，提供各鐵公路設施管理機關（構）參考。

(1) 規劃階段

- ① 掌握氣候變遷與天氣事件的衝擊並避免高風險地區。

(2) 設計施工階段

- ① 模擬氣候情境在設計方案上的影響並視覺化設計與掌握設施施工狀態。

(3) 營運維護

- ① 運用科技化監測與管理提升預警準確性與應變反應。
- ② 補足目力之判斷有所不足及養護人力上的短缺，確保設施維持在設計基準。
- ③ 更明確掌握設施狀態，進行預防性養護。

² 屬氣候事件。

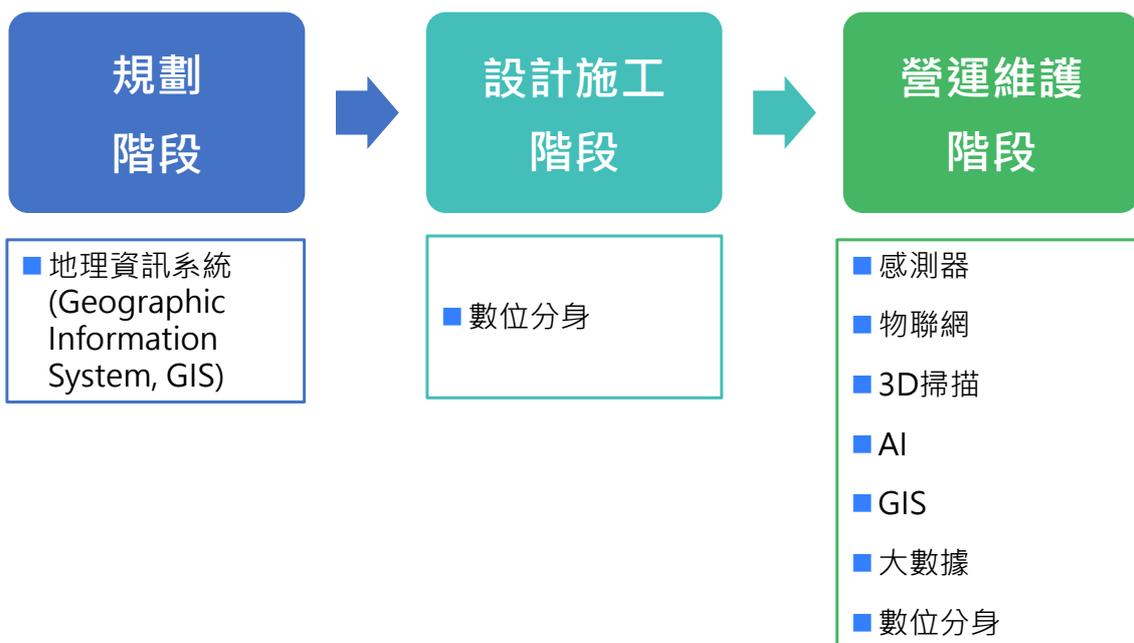
在規劃階段需考量可能影響設施與設備的因子，包含地形地質、設施服務範圍、高風險潛勢地區、工程工法的選擇等，以利完善規劃運輸設施適合的建設地區，提升建設在氣候變遷環境下的耐受度。

在設計施工階段上需確保設計標準考量氣候變遷環境，妥善管理施工的進度，並可再視情況調整設施設計與施工工法，以提升設施的韌性。

營運維護階段需確保設施與設備的良好狀態與應變能力，透過巡檢與監控，掌握系統與系統周邊的環境狀態，分配養護的順序與人力，以利確保設施與設備維持在其最好狀態，可因應設施時所考量的衝擊標準。營運維護階段也包含設施受氣候變遷事件衝擊損壞時需進行回復的過程。

在新科技的應用上，主要為設計與規劃階段的參考與管理工具以及營運階段的輔助工具。

圖 3.3.1 就公共建設全生命週期與本計畫蒐集的於各階段可應用之科技整理，規劃階段可應用地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）模擬氣候變遷情境對系統選址的影響，以迴避高風險地區；設計施工階段可應用數位分身做模擬與視覺化，以選擇最適設計方案並管理施工進度；營運維護階段則可應用感測器結合 IoT、大數據與 AI 等做設備養護管理、3D 掃描結合 AI 做設備狀態監測、GIS 結合感測器、IoT、大數據與 AI 做養護人員與設備的管理等。



資料來源：水利署，<http://epaper.wra.gov.tw/>、本計畫繪製。

圖 3.3.1 公共建設全生命週期概念圖

3.3.2 規劃階段

規劃階段鐵公路設施管理機關（構）面臨的課題為：掌握氣候變遷與天氣事件的衝擊並避免高風險地區。

規劃階段可應用無人機蒐集資訊，以 2D 資訊或將 2D 轉為 3D 資訊應用 GIS 軟體分析，可協助運輸系統導入調適概念，確保整體韌性，說明如下。

1. 地理資訊系統之空間分析技術與科技應用

GIS 之空間分析與資料視覺化技術將位置資料與數據整合到分析中，可解決空間問題，如選址分析、尋找群聚現象、歷史軌跡時空分析，甚至產出未來位置數據預測等，更進階的技術為創建複雜統計和機器學習模型，以釋放數據資料潛力。

而資料視覺化之目的為讓地理資訊與數據更容易瞭解與使用，透過視覺化展示數據以更有效地使用數據資料，並將大數據資料視覺化，利用資料動態、地圖或儀表板等形式展示，包含製圖、動畫或 3D 畫面等技術方式呈現，協助使用者做出正確的決策，以上技術可以運用於鐵公路規劃設計之工作協助^[29]，以下列舉數種空間分析之方法提供參考。

(1) 空間分析方法

① 時空分析（Space-time analysis）

將數據時間與空間資料相結合，找出事件發生的時間和地點，了解過往決策的直接影響或長期影響。可藉此瞭解資料(社會，經濟和環境等)是如何隨時間變化以及它對現在和將來所做決定的影響，並進一步使用歷史趨勢和其他資料訊息來發現趨勢和模式，進行時空預測。

② 預測分析（Predictive analysis）

使用統計和機器學習方法及專門的空間建模方法來進行準確預測，將時空中的交互作用、流量和移動等因子進行建模，使用複雜統計技術創建預測方法，檢視與量化數據關係並預測未來結果。

③ 地形分析（Terrain analysis）

可藉此技術瞭解地形特徵，通過 2D 和 3D 數值模型對地球表面進行建模和視覺化，並使用 GIS 進一步計算高度、坡度和曲率等，描繪各種情境，並使用分析結果協助判斷與決策。

美國國家海洋和大氣管理局（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）與美國環境系統研究所公司（Environmental Systems Research Institute, Inc., Esri）合作，利用地形分析和水利模型，建立各河川流量預測，精進洪水與淹水製圖，將水利模型與洪水測繪技術結合，繪製 2017 年因哈維颶風淹沒地區的圖資，如圖 3.3.2。

透過地形分析可迴避高風險潛勢區，例如地質敏感區、易淹地區、易崩塌地區，不適合建設的坡度或高程等，以確保系統之衝擊耐受力。此規劃工具適用於平面、高架、地面與隧道的鐵公路設施，可分析強降雨與暴潮可能造成的淹水與崩塌範圍以及海平面上升可能淹沒的區域。



資料來源：Esri, <https://www.esri.com/>, 2020.

圖 3.3.2 哈維颶風影響之地形分析應用

④ 選址分析（Suitability modeling and location optimization）

使用空間和運算工具找到各種設施最佳位置，達成有效分配資源，滿足需求並最小化成本等條件，能結合各領域之專業知識和該組織之目標對設施區位選址進行建模並協助選址決策。此工具適用於設施的新建或改建階段。

⑤ 路線規劃（Route planning and logistics）

透過了解從一個地點到達另一地點的成本、風險值等，找到各種阻力因素最小的路徑與路線，可使用現成的路網或使用自行構建的路網，計算旅行時間，以解決網絡相關的複雜問題，並可依據不同天氣事件對系統的影響規劃替代路線。

(2) 地理資訊系統於設施規劃階段之應用

規劃人員分析各種項目對地方和居民的影響時，可應過 GIS 的智慧地圖和空間分析，來提供決策規劃與建置具有回復力和永續性的社區、城市與鄉鎮^[30]。智慧地圖可幫助規劃人員建立具有經濟和環境韌性的永續社區，各種位置資料與情報可以協助提供有關土地使用、應變準備、運輸、公共場所以及住宅或商業區域的決策。

- ① 確認可能受氣候變遷影響的區域。
- ② 分析並了解社區在保護本地和全球自然資源中的作用與角色。
- ③ 使用地圖、模型和 3D 視覺化資料來衡量各種設計之影響。
- ④ 通過測量、監控和報告進度來推進永續發展目標。
- ⑤ 創建積極主動的應對計畫，以應對各種衝擊。



製圖

視覺化人員、地點和資產資料，以掌握社區與城市的情況，並**更好的了解需求與資源分配**



空間分析與數據科學

使用位置資料連接數據，並透過**分析模式和趨勢**，**增強永續規劃**



3D視覺化與分析

從數據中提取價值以解決問題並**查看模式與趨勢等隱藏關係**，可直觀理解數據並與他人共享

資料來源：Esri, <https://www.esri.com/>, 2020.

圖 3.3.3 地理資訊系統於設施規劃階段之應用

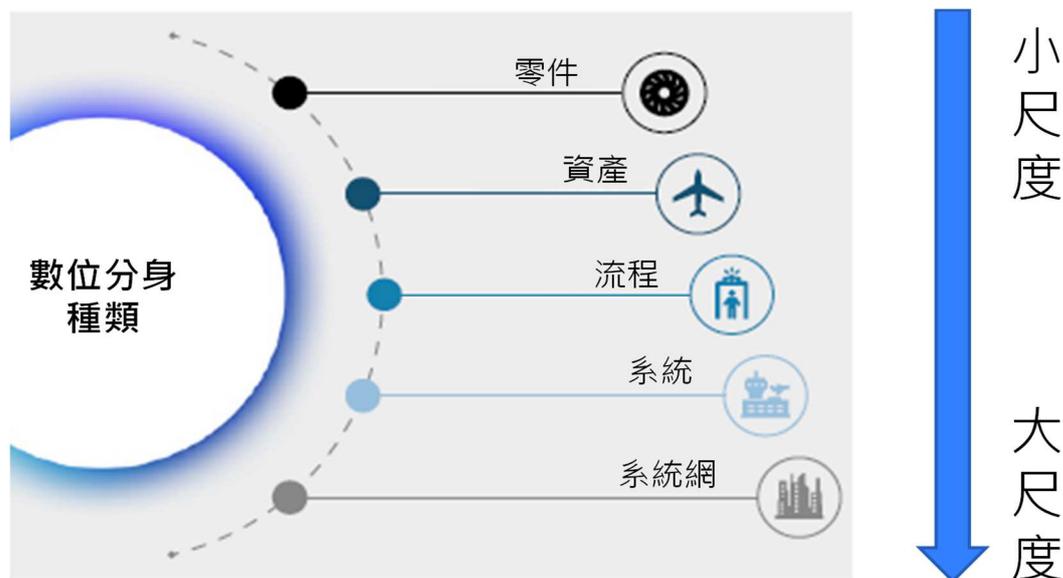
3.3.3 設計施工階段

設施施工階段鐵公路設施管理機關（構）會面臨到如何模擬氣候情境在設計方案上的影響並視覺化設計與掌握設施施工狀態。建築資訊模型（Building Information Modeling，簡稱 BIM）資訊結合感測器、大數據分析與 AI 等功能建置數位分身模型（digital twin）可用於設計施工階段至後續的維護管理階段，以下說明數位分身的定義與應用案例。

1. 數位分身的定義

數位分身為一個物理資產（physical asset）、流程、系統或工程資訊的細節數位模型（例如 BIM 模型）。物理資產可以是一台售票機、電梯、軌道、機電設備與纜線等。但數位分身的模型是動態的，它會因物理資產的改變而改變並做出回應，兩者間有數據的互通與傳遞，可模擬與即時掌握系統狀態

[31]。



資料來源：Arup, Digital Twin, 2019.

圖 3.3.4 數位分身的種類

2. 數位分身的架構

數位分身的組成架構包含 4 個特性，每個特性依據發展分為 5 個等級，說明如下：

(1) 自主性 (autonomy)

自主性為系統不需人力投入即可運作的能力。自主性分為 5 個等級，等級 1 為無自主性，由使用者全權控制；等級 2 為使用者輔助，系統可確實的執行與回報執行的工作，但自主性尚受到限制；等級 3 則是有部分的自主性，即數位分身可針對特定的狀況警示與控制系統；等級 4 為擁有高自主性的數位分身，可在無人力介入的狀況下執行關鍵的工作與監控狀態；最後，等級 5 自主性的數位分身可在無人力介入的狀態下安全的營運。

(2) 智慧 (intelligence)

數位分身的智慧指複製人腦思考模式並執行工作的能力。智慧分為 5 個等級，等級 1 的數位分身不具有智慧；等級 2 的數位分身則可回應刺激源 (stimuli)，但無法應用過往執行工作的經驗於當前的回應；等級 3 的數位分身可應用學習改善其回應且可應用歷史數據輔助決策；在等級 4，數位分身可理解其他智慧系統的需求；最後，等級 5 的數位分身擁有似人的智慧與認知能力。

(3) 學習 (learning)

可自動從數據學習改善系統表現的能力，透過機器學習，數位分身可辨識系統的目的與行為。等級 1 的數位分身沒有學習能力；等級 2 是依據許多程式化的指令行動；等級 3 為監督式的學習機制；等級 4 為非監督式的學習機制；等級 5 的數位分身則以強化式學習與環境互動，透過強化式學習可從過往的經驗與反饋學習，以最佳化表現。

(4) 準確 (fidelity)

準確為系統的細節程度，包含測量、計算或期望標準，準確分為 5 個等級，等級 1 的數位分身的準確度低；等級 2 的數位分身擁有低等到中等程度的準確度且可用於取得實體環境的量測值；等級 3 的數位分身擁有中等的準確性且可用於代表真實的狀況；等級 4 的數位分身則可提供精確的量測值；等級 5 的系統擁有高度準確性，可用於營運安全與決策。

3. 數位分身的等級

數位分身依據上述的組成與其功能分為 5 個等級，說明如下。

(1) 等級 1

基礎的 3D 數位模型，連結真實系統的數位模型，但缺乏智慧、學習、自動化等功能，例如基本的 BIM 模型。

(2) 等級 2

擁有基本回饋與控制能力的數位模型，多以小尺度系統為主，例如有連結溫度應器的建築數位模型。

(3) 等級 3

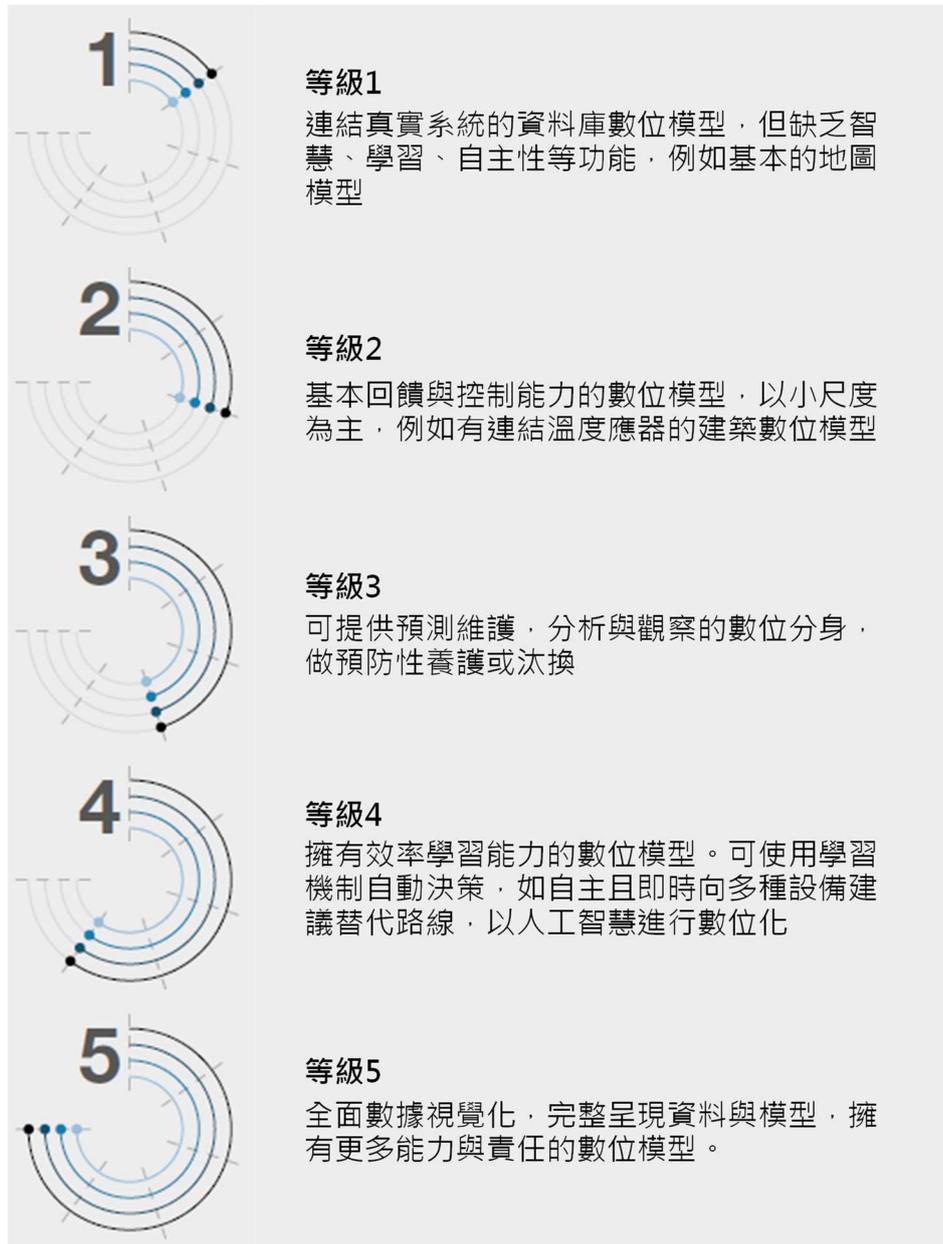
可提供預測維護，分析與觀察，例如預測鐵路設施的壽年，於資產損壞前先進行修復或汰換。

(4) 等級 4

擁有可應用不同來源的數據（含周邊環境）學習的能力，可使用學習機制於自動決策，如自動且即時向多種設備（如 app、廣播、標示等）建議替代路線。

(5) 等級 5

擁有更多能力與責任，全面數據的視覺化，呈現等級 1~4 之資料與模型。等級 5 的數位模型亦可包容等級較低的數位模型，將個別建立的系統做整合。數位分身的等級如圖 3.3.5 所示。



資料來源：Arup, Digital Twin, 2019、本計畫整理。

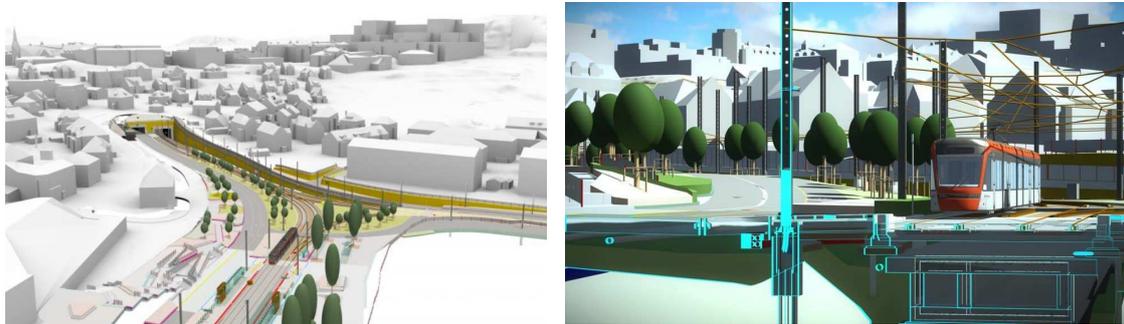
圖 3.3.5 數位分身的等級

4. 數位分身於設計上的應用

卑爾根（Bergen）為挪威第二大城市，該城市的輕軌系統自 2010 年開始營運，全長為 9.8 公里，共 15 個站點^[32]。為因應卑爾根的人口持續成長，規劃延伸 Bybanen 輕軌，以鼓勵都市發展。新的輕軌路線為 9 公里，預算

為 6.2 百萬挪威克朗，包含 8 個新站點（含機廠與總站）與 2 個新隧道。因規劃範圍大多為山區、平地很少，須迴避高風險地區（地質敏感區、水資源區等）在路線設計與工程上有很高的挑戰，且需要許多不同領域的合作，故透過建立數位分身的方式模擬與蒐集所有的數據，以利分享、討論與管理規劃及工程。數位分身除建置路線與周邊環境外，也包含軌道的轉轍軌等。

規劃團隊透過數位分身模擬了 30 個不同的線型、透過數位分身選取最合適的設計方案，節省了 15% 的計畫時間，25% 的工程錯誤。並可針對不同的設計方案提供模擬圖並將所有相關的設計文件，如建築模型、規格、圖面等納入到數位分身中。



資料來源：BIMTODAT, Digital twins prove game-changer for Bergen's light rail extension, <https://www.pbctoday.co.uk/news/bim-news/digital-twins-light-rail/76313/>, 2020.

圖 3.3.6 Bybanen 輕軌數位分身

3.3.4 營運維護階段

營運維護階段包含設施的監測、巡檢、管理維護等工作，以確保系統維持在其設計標準，可因應天氣事件的衝擊。鐵公路設施管理機關（構）在監測上碰到的課題為如何更科技化監測與管理；藉此提升預警準確性與應變反應；巡檢作業上則會面臨如何補足目力之判斷有所不足及養護人力上的短缺，確保設施維持在設計基準；管理維護上則期望可以更明確掌握設施狀態，進行預防性的養護。以下蒐整適用於上述各項工作的新科技內容：

1. 風險監測工作

(1) 荷蘭鐵路利用 IoT 提高營運及運輸效率

荷蘭鐵路是歐洲最繁忙的路網之一，每日運量高達 110 萬，再加上硬體設備及系統老舊，因應未來搭乘人數及需求預計 10 年成長 40%，ProRail（荷蘭鐵路政府組織）引進 IoT，透過感測技術及數據傳遞、分析和管理，藉以改善鐵道運輸效率及營運^[33]。

ProRail 已陸續於鐵路路網裝設 2,000 個 IoT 感測器（圖 3.3.8），使用的是荷蘭最新一代的 CRTM3000 感測器，並以 LoRa 網絡技術傳輸^[34]，多裝置於鐵軌、柵欄、懸鏈線上，感測器所蒐集的數據由 MTinfo 3000 Cloud 監控平台取得，透過通訊技術獲取溫度（熱量）數據，藉以檢測鐵軌是否可能因高溫而膨脹，如果超過臨界值將可即時發送警示訊息於管理者。此技術適用於平面會受到溫升影響的鐵路系統。



資料來源：Railwaypro, ProRail to install IoT sensors to monitor rail infrastructure, <https://www.railwaypro.com/wp/prorail-install-iot-sensors-monitor-rail-infrastructure/>, 2017.

圖 3.3.7 CRTM3000（關鍵軌道溫度監控器 3000 型）IoT 感測器



資料來源：The things network, LoRaWAN for the Dutch railways, <https://www.thethingsnetwork.org/article/lorawan-for-the-dutch-railways>, 2020.

圖 3.3.8 長距離廣域網（LoRaWAN）技術示意圖

(2) 美國聯邦鐵道局因應軌道挫屈

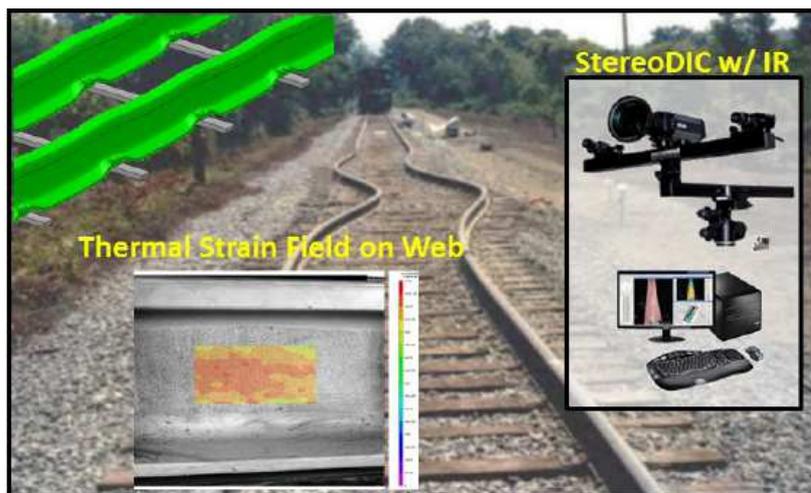
美國聯邦鐵道局於 2019 年有超過上百個鐵路相關技術計畫正在進行，其中與氣候變遷調適有關之計畫為研究鐵軌溫度感測技術，如運用資料探勘與 AI 分析鐵軌零應力溫度（rail neutral temperature）³與挫屈之科技偵測與管理，並建置手機連網應用程式即時感測軌溫與預警挫屈風險^[35]。



資料來源：Federal Railroad Administration, Rail Moving America Forward, 2019.

圖 3.3.9 鐵軌溫度即時感測鐵軌挫屈風險預測應用程式畫面

此外，也有數項計畫運用紅外線攝影功能監測鐵軌溫度變化與其受到之力量變化，並建置網路通報系統以供即時監測，如圖 3.3.10。

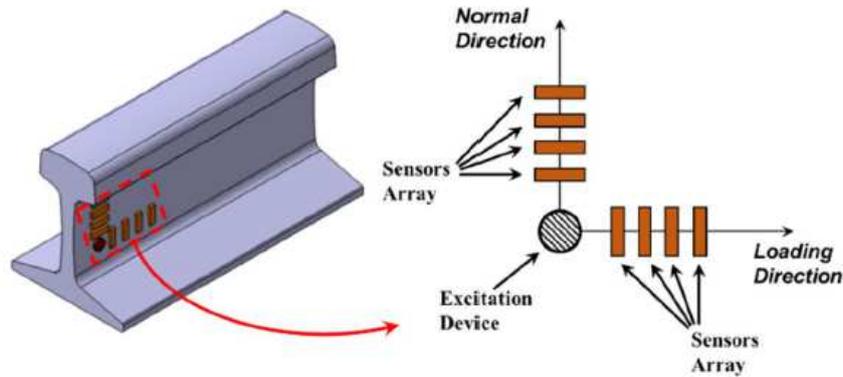


資料來源：Federal Railroad Administration, Rail Moving America Forward, 2019.

圖 3.3.10 紅外線攝影功能監測鐵軌溫度變化

³ 鋼軌零軸應力時之溫度，此時鋼軌內部除製造時殘留之內應力外，並無其他應力或溫度應力。

另有一計畫也運用了以音響學理論為基礎設計之偵測器即時偵測鐵軌因溫度產生之變化，即時監測提供挫屈處理因應，如圖 3.3.11 所示。此技術適用於平面會受到溫升影響的鐵路系統。



資料來源：Federal Railroad Administration, Rail Moving America Forward, 2019.

圖 3.3.11 鐵軌零應力溫度感測器

2. 巡檢工作

(1) 三維（3D）技術應用於蘇格蘭鐵道之勘測

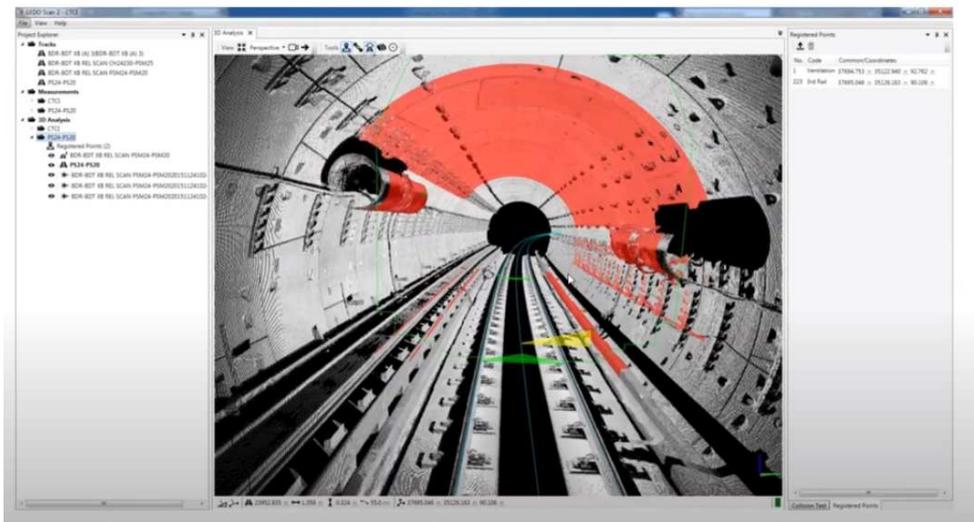
為利鐵道勘測更加精確且效率，負責維護英國整體鐵路的 Network Rail 應用三維（3D）掃描儀進行蘇格蘭鐵路基礎設施環境的建模^[36]，此 3D 掃描儀係一套成組的工具-Trimble GEDOScan 系統（圖 3.3.12），可於鐵道測量、記錄、分析和應用發揮成效，目的是精確且高效的進行定位，以利設計、施工和維護，該系統適合於隧道或不規則的施工範圍進行勘測，平均誤差不到 5mm，同時比起過往量測方式減少大約五分之四的時間。



資料來源：Korecgroup, Trimble GEDO IMS, <https://www.korecgroup.com/product/trimble-gedo-ims/>, 2020.

圖 3.3.12 Trimble GEDOScan 系統及其作業過程圖

量測的過程當中，透過工程師操作量測小車及 Trimble GEDOScan 系統，可計算出左軌、中線及右軌傾斜度及軌距，具體且快速地蒐集有關軌道和周邊（如橋樑、胸牆和月台）的環境特徵及其精確的資料(偏移程度及高度差)，且掃描的數據可於 GEDO Scan Office 軟體呈現，將產生有關軌道位置的準確資訊及性質條件（圖 3.3.13），系統更可以管理軌道和結構的間隙資訊，達到主動監控的作用並同時告知維護需求，藉以預測和預防故障情形發生，減少對於乘客的干擾。此技術適用於隧道會受到強降雨影響造成裂縫與漏水等的鐵路系統。



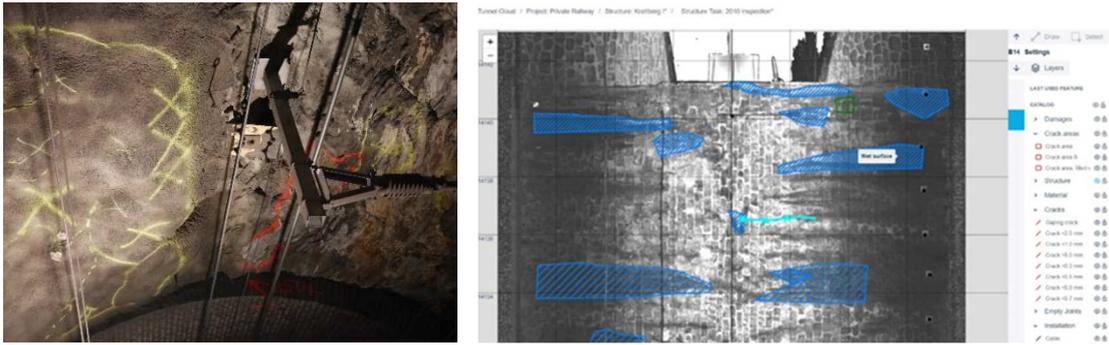
資料來源：<https://www.youtube.com/watch?v=T06XWZ4DhG0>，民國 109 年。

圖 3.3.13 GEDO Scan Office 軟體三維（3D）掃描成像示意圖

(2) 瑞士開發隧道檢測應用多感官系統

鑒於過去隧道檢測多為人工執行，耗時且會有主觀意識的判斷，影響實際評估設施狀態的準確度，為解決上述課題，瑞士公司 Amberg Technologies 開發新型的輕巧多感官系統用於隧道檢測，該系統可在單次量測中蒐集隧道的幾何（geometry）、表面結構（surface structure）與滲水（water inlets）等^[37]。

利用高速掃描器（high-speed scanner）以不同坡段（wavelength）的雷射記錄整個隧道牆，雷射也產出 2D 影像顯示小於 1 毫米的裂縫，所有的掃描影像會整合進規劃系統。此技術適用於會受到強降雨影響的鐵公路隧道設施。



資料來源：Tunnel, Tunnel Inspection with Artificial Intelligence, https://www.tunnel-online.info/en/artikel/tunnel_Tunnel_Inspection_with_Artificial_Intelligence_3381411.html, 2020.

圖 3.3.14 隧道人力檢測（左圖）雷射辨識（右圖）

3. 維護管理工作

(1) 運用 GIS 管理和維護設施

設施管理與維護（包括安全性、保密性和可操作性）都是複雜而昂貴的工作，透過使用數據管理、分析和視覺化功能可以達成此項任務。設施使用數據來管理可幫助領導者評估安全風險、制定計畫、保護員工和資產並改善日常營運，而智慧地圖可幫助設施管理員了解所掌握的空間和其中的人員，並監督日常營運。此技術可適用於整個系統所有型態設施的管理工作。



現場作業

即時現場活動的位置、透視圖、數據、資料，以儀表板輔助決策



視覺化和分析

串聯大數據和物聯網並基於最新訊息做出決策



製圖

視覺化人員、地點和資產，制定詳細計畫，有效協調和分配資源

資料來源：Esri, <https://www.esri.com/>

圖 3.3.15 地理資訊系統於設施管理之應用

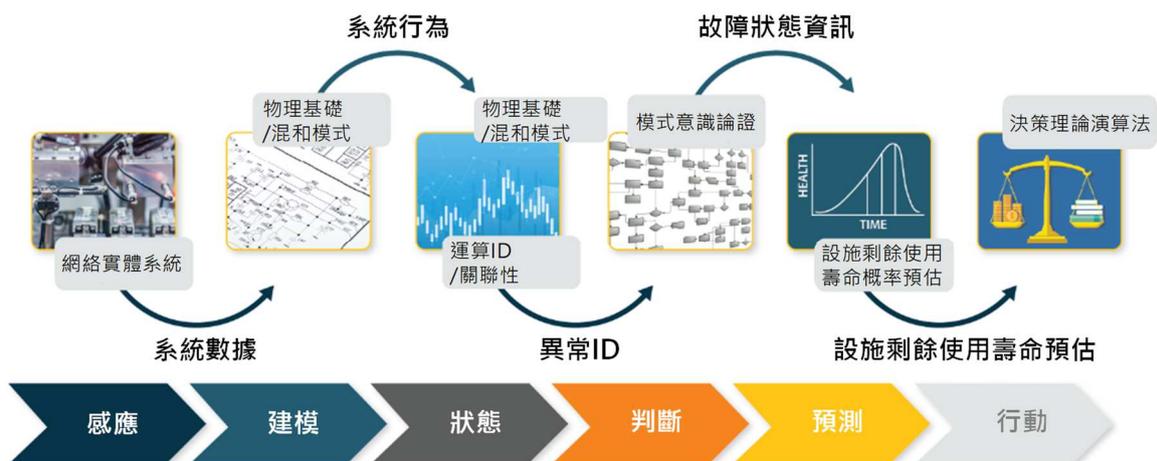
(2) 東日本鐵路應用 IoT 執行維護作業

為提高列車的效率與安全，東日本與 Palo Alto Research Centre (PARC) 合作，導入工業物聯網 (industrial internet of things, 簡稱 IIoT)，

透過預測分析設施狀態為基礎進行設施維護 (condition-based maintenance, CBM)，取代過往以時間為基礎的維護 (time-based maintenance, TBM) 與受損後修復，以減少維護的成本^[38]。TBM 的做法適用於固定使用型態的設施，位於特殊地形或氣候的設施，或是已大幅超過其設計年期的設施則相對不適用。透過預測分析，維護團隊會在 1 週至 1 個月前收到設施無法運作的預測，以利規劃準備相關維護作業，避免路線營運中斷。

PARC 導入 MOXI™ technology suite，建立以模式為基礎的演算法 (model-based algorithms)，應用回傳資料達到 90% 的預測準確率。Moxi 的評估流程分為 6 個步驟 (圖 3.3.16)。此技術可適用於整個系統所有型態設施的管理工作上。

- ① 感測 (sensing)：感測器提供準確的系統數據。感測器係使用低成本的光纖 (fiber-optic strand sensors)。
- ② 建模 (modeling)：客制化建模，模擬多種設施狀態與故障情況，設計系統避免上述情況發生。
- ③ 狀態監控 (condition monitoring)：監控與辨識系統異常行為。
- ④ 判斷 (diagnostics)：應用論證機器判斷設施故障狀態。
- ⑤ 預測 (prognostics)：應用系統模型與數據預測設施剩餘壽命。
- ⑥ 行動 (actionable recommendations)：依決策理論演算法支援正確的行動。



資料來源：Parc, Improving Railway Efficiency with IIoT System Analytics
<https://www.parc.com/case-study/improving-railway-efficiency-with-condition-based-maintenance>, 2020、本計畫彙整。

圖 3.3.16 Moxi 評估流程

(3) 義大利應用 IoT 監控設施生命週期

義大利道路營運商 ASPI (Autostrade per l'Italia) 應用專為橋梁、道路、隧道等基礎設施設計的 Autostrade IoT 管理設施^[39]。Autostrade IoT 功能符合義大利基礎設施與交通部 (Ministry of Infrastructure and Transport) 的智慧道路 (smart road) 定義的基礎設施即時監測與維護系統，透過提升維護作業的效率與資訊的透明度，強化基礎設施安全性。

Autostrade IoT 採用 IBM 的 Maximo 資產管理 (Maximo Asset Management) 系統，優化監測、維護、管理基礎設施的作業與方式，支援即時與設施全生命週期的狀況監測與管理作業，運用 IoT 數據與資料分析管理資產可用性，以減少營運風險並降低營運成本、縮短營運中斷時間以及最佳化資產的效能表現。

ASPI 營運與管理約 4,300 座橋梁、高架道路、隧道、高架橋等設施，可透過安裝在基礎設施上的感測器持續監測設施狀態，並經由 IoT 將蒐集到的所有更新資料即時傳送至監測平台，儲存於數位資料庫。

Autostrade IoT 運用 AI 演算法處理基礎設施的 3D 模型與技師現場拍攝的影像，區分出可能需要維護的區段，並提出進一步檢測的建議。此外義大利基礎設施與交通部的 Ainop 資料庫提供全國基礎設施安全狀況的監測資料，Autostrade IoT 也會連線 Ainop 資料庫提供與更新轄下基礎設施的即時監測資料，提供其他單位做資料的加值應用。

Autostrade IoT 已於 2019 年底推出先導計畫進行測試，初期的測試涵蓋 3 座高架橋。第二階段則將於 2020 年中開始，將支援基礎設施維護作業，包含設計到營運階段以及測試到執行階段，並以單一儀表板提供維護作業的所有整合資訊 (圖 3.3.18)。最終目標係於 2020 年底前完成 ASPI 的主要路網上的技術部署。

設施管理人員可用 Autostrade IoT 共享、溝通管理基礎設施與相關資訊，包括設定自動化的工作流程，追蹤必須執行的作業是否已完成、申請的事項是否已獲得批准。而負責檢測與管理的人員則可透過行動裝置獲得相關設施的即時資訊，並能存取基礎設施的施工計畫文件，以決定是否應進行維護與維護的時程。此技術適用於整個系統所有型態設施的管理工作。



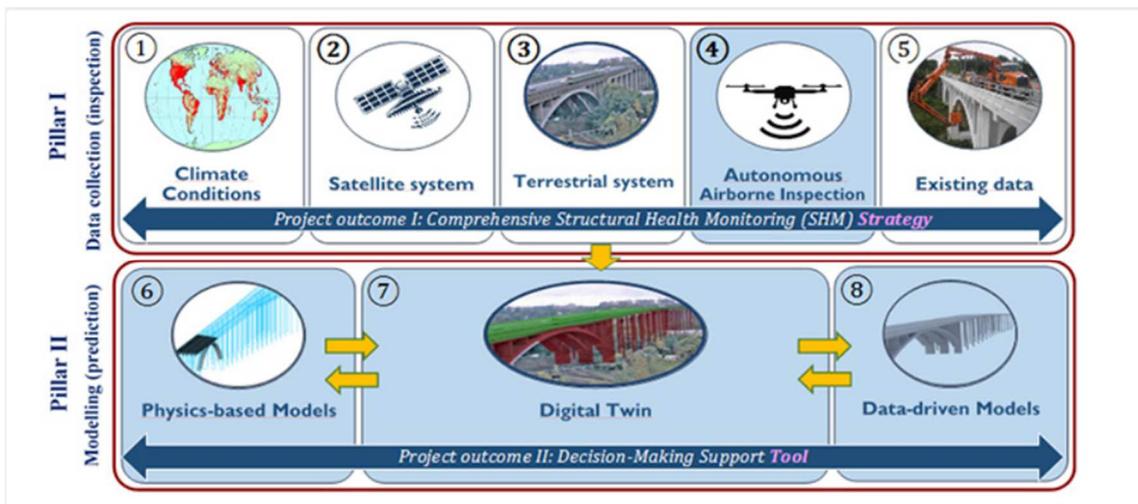
資料來源：Traffic Technology today.com, AI-based platform to monitor Italian highways infrastructure, <https://www.traffictechtoday.com/news/infrastructure/ai-based-platform-to-monitor-italian-highways-infrastructure.html>, 2020.

圖 3.3.17 Autostrade IoT 現場應用（左圖）與功能架構（右圖）

(4) 斯德哥爾摩公路橋梁應用數位分身維護管理

在營運管理階段，數位分身可應用現況條件的數位資料模型模擬掌握設施狀況並模擬可能的氣候情境以降低風險。運用數位分身模擬不同的調適方案可避免未來氣候風險，並可鼓勵利害關係人參與。

例如斯德哥爾摩公路橋梁因應氣候變遷數位分身建置計畫，分為兩階段：第一階段為資料蒐集，集合地形、衛星與空拍視察系統，歷史與未來氣候數據以及設施的歷史數據建立完整數據庫協助決策；第二階段則是模擬，將第一階段的資料優化並建立數位分身，做為評估現況與未來氣候風險對設施影響的決策以及設施老化的預測與觀察用，可降低極端天氣事件對設施之影響，確保運輸系統正常營運，並提供即時與預測數據參考。



資料來源：Arup, Digital Twin, 2019.

圖 3.3.18 斯德哥爾摩公路橋梁數位分身計畫

3.4 鐵公路運用新科技於調適之建議

國內的科技發展以加強數位科技能力為主軸，包含運用大數據、IoT、AI 等技術強化營運管理及智能監控，以及透過擴展感測器的裝設密度，加強掌握設施狀態，以利風險監控；在交通產業的應用發展上則有雲端、大數據、AI、IoT、5G、無人機等科技的持續發展以協助交通智慧化。

國內鐵公路管理機關（構）應用科技於規劃施工與營運管理作為，包含利用光達掃描與 3D 建模，結合影像辨識或過往歷史資料等，分析邊坡的穩定狀態。針對設施狀態則有應用無人機進行巡檢，並思考將無人機與 AI 結合辨識河道變化與橋梁狀態。

本節綜理上述趨勢，針對鐵公路運用新科技因應極端氣候風險提出建議方向，同步提醒新科技運用時應注意之事項。

3.4.1 強化調適能力之新科技運用方向

以鐵公路設施之生命週期為軸，依據前述調查調適新科技應用案例，探討新科技運用於各階段強化氣候變遷調適能力之適用性。

1. 規劃階段

為提升鐵公路設施於氣候變遷環境下的調適能力，於規劃階段（含新建與改建）即避免高風險潛勢區域，加強運用 GIS 的分析技術結合氣候變遷的情境可用於地形分析、設施選址、替代路線計算等提高設施衝擊耐受力。

國內在規劃上雖已有多年經驗使用 GIS 分析，但並未將氣候變遷情境納入考量，建議在未來的規劃上進一步將氣候變遷情境納入分析，除迴避高風險潛勢區外，也可於選址上降低替代路線不足的脆弱度。

但因 GIS 的分析精細度取決於資料庫的完整性，需詳細的氣候情境資料、地形、地質、水文等圖資，顯示資料蒐集為重要工作，且氣候變遷環境下所需的規劃分析資料非僅仰賴設施管理機關（構），也需氣象單位、地質單位與其他研究單位持續投入相關資料的模擬與更新。

2. 設計施工階段

設計施工階段的調適應用科技為數位分身的模型，可透過模型模擬適合環境、工程與營運需求的設計方案，如有欲調整的設計或工法，亦可於模型

中先進行模擬，避免不適用與不必要的工程投入與耗損，及對周邊環境與在不同氣候情境下的反應，做為決策輔助。

數位分身可將設計與施工過程視覺化，以利利害關係人精準掌握系統狀態。如於此階段導入數位分身，可於營運維護使用，並有利減少建置成本。

目前仍須逐步主流化工程界應用 3D 模型視覺化設施資訊的概念，國內在設計施工上已逐步建立 BIM 模型，建議再進一步發展為功能更加完整的數位分身，可先由小型的場站與較短的路線做建置與應用。

3. 營運階段

平面的設施較常面臨的風險為強降雨與高溫，在因應高溫上，美國利用攝影機結合紅外線辨識軌溫的變化，如偵測到具風險的軌溫，則列車降速，但攝影機可能受環境的水氣／濕度影響辨識的精準度，測量距離依據攝影機的機型也會有一定的限制。另一個方式則是使用溫度感測器及 LoRa 傳輸數據監控與傳輸軌溫、排水設施狀態、風速等將使鐵路更智慧及安全。上述兩個方法於國內可應用於軌溫的管理與應變，但需視各路段的特性與環境進一步評估適用性，也須因應新的無線通訊標準調整資料傳輸裝置。

巡檢為確保營運不中斷的重要措施之一，蒐集到的巡檢應用以鐵道隧道的設施型態為主，隧道會因強降雨而造成隧道襯砌裂縫增加^[40]，造成漏水，隧道曲面也可能因強降雨所造成的邊坡地滑而變型。在巡檢上利用 3D 掃描儀或多感官系統可對隧道的狀態進行快速的掌握，減少人力需求，數位化資產資料，並以蒐集之損壞資料進行 AI 訓練，做為未來辨識隧道狀態之依據，針對需改善的地方先進行預防性的養護，國內在應用上可先採取示範計畫的方式巡檢隧道，評估其對於巡檢人力成本與安全是否有效益，因兩者雖皆可提高人員的安全，但在座標系統的設定上或資料處理分析上則需要其他專業人力的投入，且需注意 3D 掃描的精細度會影響 AI 辨識精準度。

運用 GIS 地理資訊建置場站或設施路線模型，搭配感測器、IoT、大數據等科技即時掌握養護人員所在地點與執行之工作，並視覺化資產與其狀態，然須注意資料蒐集及分析之精細度取決於資料庫之完整性。

設施全生命週期的維護管理為具調適概念的資產管理，透過分析與管理不同設施於面臨不同氣候影響下的風險，並管理其狀態，分配養護順序與人力，以利系統的管理思維逐步從反應式養護調整為預防性養護。

數位分身的應用上除規劃階段，於後續的設計施工與維護管理階段皆可使用，但因數位分身需建置大量資料庫與感測器以完整蒐集分析資料，故鐵公路設施管理機關（構）可視需求先由小規模的數位分身開始建置，長期需建置大量資料庫以完整蒐集分析資料，達到長期優化數位分身在面臨不同狀況時的反應。此外，因大量的分析資料存取於雲端，在資訊安全上一定的疑慮，需建立完整的資安防護機制，也需快速的網路服務以加速資料的回傳、分析、預測與通知養護人員。

數位分身除了能更有效地維護設施，延長壽年外，累積的維運資訊更具價值。新建的鐵公路可能需 3~10 年的期程，但後續的維護管理視不同設施的壽年（如路段、橋梁）可長達 20~100 年。資料價值需蒐集一段時間才能發揮最大的效果，例如，做為設備採購、因應氣候變遷改善或新設施規劃設計的參考等^[41]。

3.4.2 新科技運用之注意事項

新科技之導入除需要就課題、環境與資源選擇適合的科技之外，數據與時間之累積與校估，以提升其應用面與準確度，以及整體思維的轉換都關乎科技導入的效益。本小節整理案例回顧上所蒐集之限制與本計畫辦理之專家學者座談會所蒐集之建議，歸納新科技應用需注意之事項。

1. AI 有其限制

從所蒐集的案例中可看到 AI 為 IoT、數位分身上的應用，但 AI 受限於情境，如情境上沒有太大關聯，就算較難蒐集到大量資料，但因與情境相關性低，基本上可應用 AI，例如鐵公路設備的預測性養護。但在高度情境相關的狀況下，如颱風的衝擊預測，因每次颱風的路徑、強度、降雨量等都有差異，且樣本數小，故在此狀況下運用 AI 的效益低^[42]（如圖 3.4.1）。

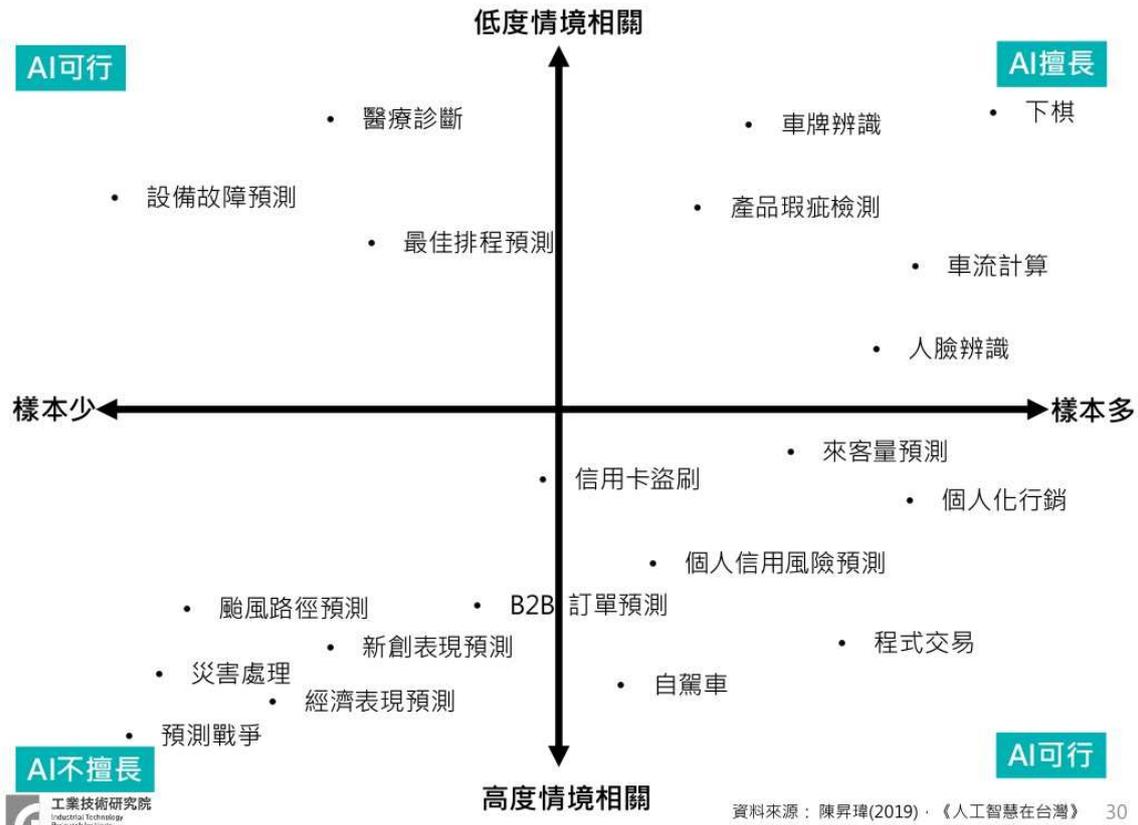
此外，數據樣本數的多寡也會影響 AI 的應用，因 AI 需大量的數據才能做出較準確的判斷。如欲用於邊坡危害的辨識、道路鋪面損壞的辨識等，需大量的樣本做訓練，方能正確辨識。如做檢測應用 AI 時，需從最前端的資料蒐集，後端的資料標記及資料訓練思考。

總結來說，能夠觀測完整，也就是無法觀測或量化的情境資訊少的問題，基本上都適合以 AI 來找解答。但若觀測十分片面或是無法量化，又沒有大

量的資料來補助資訊的不足，應用 AI 做預測就有困難。

2. 因應資訊安全風險

IoT 開啟了資料竊取及駭客攻擊的新管道，因大量的分析資料存取於雲端，在資訊安全上一定的疑慮。在資訊安全上需要進行加強，也可思考以合適的風險管理與適當的資訊安全策略來加以管理。



資料來源：陳昇璋、溫怡玲，人工智慧在台灣：產業轉型的契機與挑戰，民國 108 年。

圖 3.4.1 AI 的適用情境

3. 資料為科技應用之本

目前設施的資料蒐集多由政府單位執行，在預算與人力上有一定的負擔，可參考美國在資料蒐集上是由民間蒐集後做加值再回賣給政府。政府可思考建立機制鼓勵民間單位或民眾協助蒐集所需之公路資料，減少資料蒐集之負擔並完善科技應用所需之資料基礎。在資料的蒐集上需定義所需之資料格式、資料經度、資料內容等，並有誘因機制，方能推動由民間蒐集資料之做法。

4. 思維的轉變是關鍵

應用新科技於調適輔助需要思維的改變，目前的許多科技導入係由既有

的設備去做智慧化或 IoT 化，但舊有設備 IoT 化會碰到如何去對應與抵抗原來舊有的勢力的課題，故如何影響人的觀念與想法為重要課題。

另外，資料的導入不是立即有成效，需要設施管理機關（構）長時間蒐集數據，如抓取異常值也會有資料量不足無法分析的狀況，因此在導入大數據分析與 AI 時也需有這樣的思維認知。

第四章 運輸系統調適策略滾動檢討

為輔助交通部依《溫管法》規定研議運輸系統氣候變遷調適策略，本計畫以 108 年度「運輸系統調適策略研究」的成果為基礎，綜理國際調適趨勢、新科技輔助提升調適能力應用方向、運輸系統設施管理機關（構）當前之調適作為及建議事項等，滾動檢討並提出新版運輸系統調適策略。

本章架構如下：4.1 節說明調適策略滾動檢討作業流程；4.2 節揭示調適策略在國家氣候變遷調適架構中的定位及性質；4.3 節說明調適策略的目標及範疇；4.4 節彙整運輸系統設施管理機關（構）調適作為、對策略之建議以及對新科技應用之看法；4.5 節說明調適策略之檢討原則及重點；最後，於 4.6 節綜理滾動檢討後之調適策略全貌。

4.1 滾動檢討作業流程

運輸系統調適策略檢討作業流程如圖 4.1.1，檢討步驟依序說明如下：

1. 確認調適策略之性質與定位

依據我國氣候變遷調適計畫架構，確認策略的性質與定位，以利內容之研議。

2. 檢討調適目標

以 108 年度「運輸系統調適策略研究」，依循環保署《國家因應氣候變遷行動綱領》之目標，並參酌交通部於《國家氣候變遷調適行動方案（107-111 年）》之調適策略訂定之運輸系統氣候變遷調適目標。

3. 文獻回顧啟示

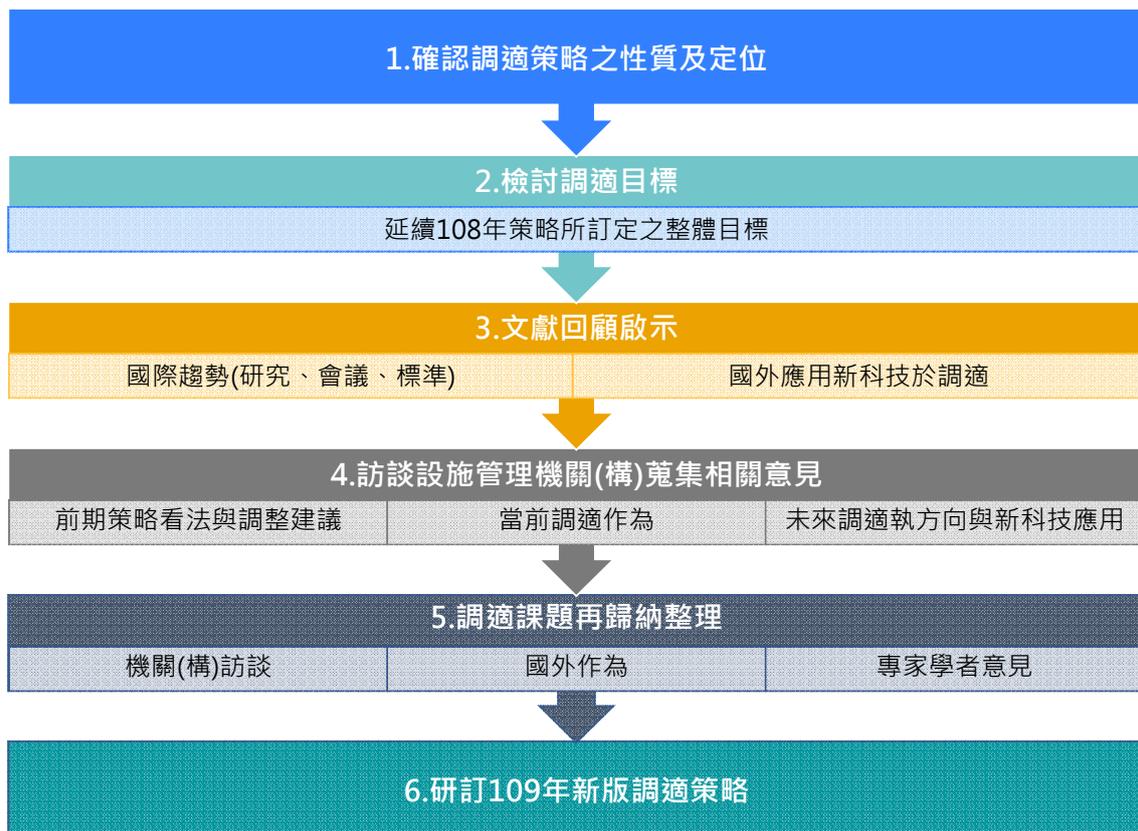
參考國外調適新趨勢，包含國際會議議題、ISO14090 以及相關研究成果等，綜理可供國內借鏡處（詳 2.7 節）。另外，蒐集國外運輸系統於規劃設計或營運管理階段運用新科技提升氣候變遷調適能力的案例，並分析國內可借鏡處，融入調適策略滾動檢討內容。

4. 訪談設施管理機關（構）蒐集相關意見

機關（構）訪談的重點主要係在瞭解機關（構）在《國家氣候變遷調適行動方案（107-111年）》的執行情況與衍生的課題、對於108年計畫的調適策略架構與內容的看法與建議、目前機關（構）的調適作為與未來調適的規劃或想法等，做為滾動檢討調適策略之參考。本年度為更完整掌握機關（構）在執行前期計畫研擬之調適策略情況與策略對機關（構）的重要性，另外設計策略執行調查表蒐集資訊。

5. 調適課題再歸納整理

綜理國際調適趨勢及新科技應用於調適案例、國內科技發展政策，結合設施管理機關（構）訪談之建議事項，並透過辦理專家學者座談會集思廣益，提出新版運輸系統調適策略。



資料來源：本計畫繪製。

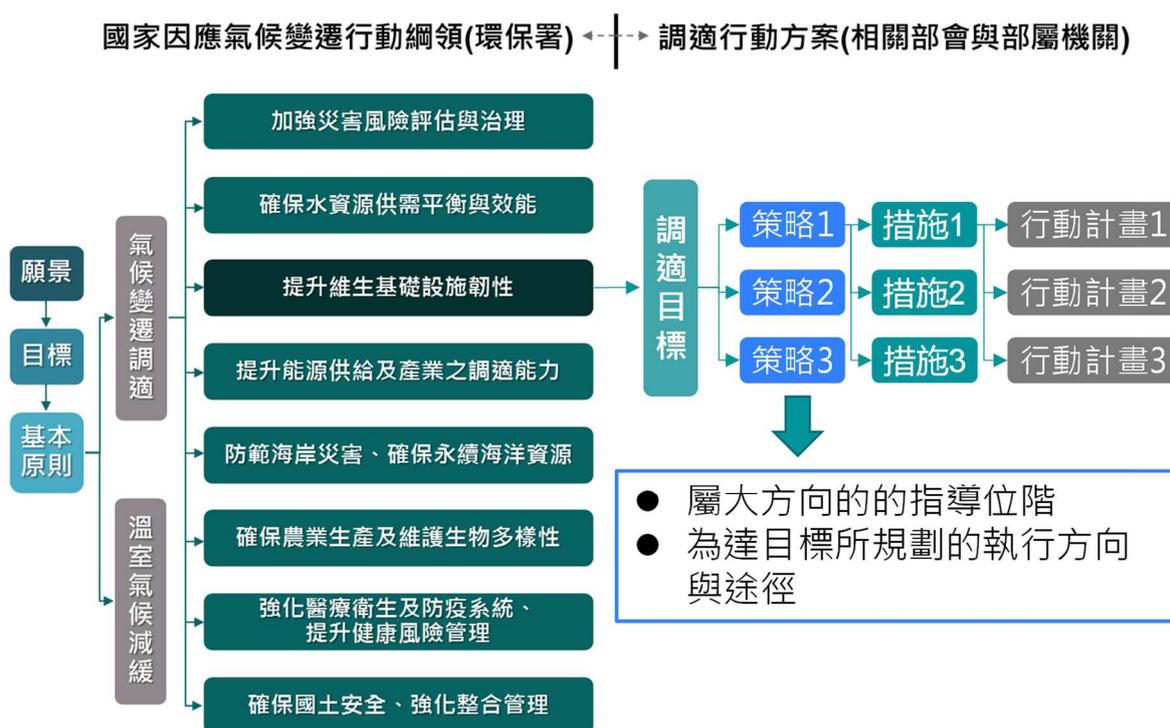
圖 4.1.1 調適策略檢討作業流程

4.2 運輸系統調適策略定位及性質

依據我國氣候變遷調適計畫架構，運輸系統屬於維生基礎設施之一環，需依循整體維生基礎設施的調適方針推動調適作業。運輸系統調適策略之定位上承《國家因應氣候變遷行動綱領》，下銜各運輸次系統管理機關(構)之調適行動計畫；由於需包容各運輸次系統之需要，因此在性質上屬大方向的指導原則而非具體的行動指南。說明如下：

1. 運輸系統調適策略之定位

環保署依《溫管法》之規定，擬訂《國家因應氣候變遷行動綱領》，中央有關機關依《國家因應氣候變遷行動綱領》之規範，續行推動各領域調適行動方案及相關工作。而依據第 13 條第 1 項之規定，中央目的事業主管應研議氣候變遷調適策略做為行動方案參考依據。



- 資料來源：1.環保署，國家因應氣候變遷行動綱領（核定本），民國 106 年 2 月。
 2.環保署，國家氣候變遷調適工作規劃第 2 次協商會議資料，民國 107 年 9 月。
 3.本計畫彙整。

圖 4.2.1 國家氣候變遷調適計畫架構

2. 運輸系統調適策略之性質

運輸系統屬於維生基礎設施，需在「提升維生基礎設施韌性」的大架構之下提出其調適策略。然而，運輸系統包含鐵路、公路、海運、空運等次系統，各運輸次系統所面臨之氣候變遷風險均不相同，基於涵納各運輸次系統調適需求，故本計畫之調適策略屬大方向指導原則而非具體的調適行動指南。

4.3 規劃目標及範疇界定

調適策略規劃目標與範疇參考我國氣候變遷調適上位指導計畫，包含《國家因應氣候變遷行動綱領》與《國家氣候變遷調適行動方案（107-111年）》。

1. 調適策略目標

環保署公布之《國家因應氣候變遷行動綱領》以「健全我國面對氣候變遷之調適能力，以降低脆弱度並強化韌性」為目標。交通部研提之《國家氣候變遷調適行動方案（107-111年）》則以「建構能適應氣候變遷環境的韌性運輸系統、提升運輸設施氣候變遷調適能力」為策略（如圖 4.3.1 所示）。

依循上位計畫之指導，本計畫之調適目標設定為「**建構具氣候變遷韌性的運輸系統**」。所謂「具氣候變遷韌性」，係指在極端事件下，具生命線概念的運輸系統能維持其基本的功能，包括客、貨運輸功能，並且能最小化運輸系統設施因天氣事件衝擊而無法正常運作的時間以及其所影響的客運量與物流量等。



資料來源：本計畫彙整。

圖 4.3.1 調適策略目標

2. 調適策略範疇

調適策略之範疇依序就(1)設施、(2)時空及(3)氣候狀態加以說明：

(1) 設施範疇

- ① 鐵路：場站、路線重要設施及系統設施之營運。
- ② 公路：路線重要設施及設施之營運。
- ③ 機場：空側與陸側設施（表 4.3-1）及設施之營運。
- ④ 商港：海域與陸域設施（表 4.3-2）及設施之營運。

表 4.3-1 機場空側與路側設施

設施	設施分類	內容
空側	航機操作區	跑道、滑行道、停機坪等
	助航設施	塔臺、電子助航系統、燈光系統、標線、指示牌等
	消防與救援	消防車、醫護車、其他救援設備等
陸側	客運大廈	旅客報到、行李託運櫃台、安檢、海關、其他旅客設施等
	貨運站區	進、出口倉、機放倉、冷凍庫等
	交通與聯外	停車場、機場列車、聯外道路/運具等

資料來源：交通部運輸研究所，運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫，民國 108 年。

表 4.3-2 商港海域與路域設施

設施	設施分類	內容
海域	水面及導航	航道、錨地、船席等；航路標誌、信號、照明、港務通訊等
陸域	碼頭及隔浪	碼頭；防波堤、護岸等
	裝卸與倉儲	起重機、推高機、輸送帶等；通棧、倉庫等
	補給與修復	加油、給水管路、補給船；船架、船塢等
	交通與聯外	停車場、聯外道路等

資料來源：交通部運輸研究所，運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫，民國 108 年。

(2) 時空範疇

除了以歷史衝擊為策略研擬基礎外，亦考量現況與未來氣候變遷風險。

(3) 氣候狀態範疇

根據本所調適系列研究蒐集之文獻，並回顧我國過往因天氣事件造成之運輸系統影響，將氣候狀態範疇聚焦於（1）強降雨、（2）強風、（3）暴潮、（4）高溫與（5）海平面上升等 5 大氣候狀態上。

4.4 設施管理機關（構）意見彙整

為瞭解運輸系統設施管理機關（構）針對氣候變遷衝擊所採行或未來擬採行之相關因應作為與擬應用之新技術，並蒐集其對於調適策略的建議，本計畫以專家訪談諮詢方式分別前往桃園機場公司、公路總局與台灣高鐵公司進行深度訪談，以掌握當前推動中或擬推動之調適作為。以下摘述上述設施管理機關（構）的調適作為、新科技運用與調適策略調整建議等重要內容。

1. 桃機公司

(1) 調適作為

- ① 根據桃園機場的溫度與高程特性進行航機性能分析後，評估第三跑道有 3,800m 長即可滿足桃園機場未來營運所需，但因無法排除未來發生異常高溫之可能性，在考量氣候變遷與機型發展之不確定性以及鄰近之各國國際機場跑道長度後，採用較充裕之 4,000m 為規劃基礎。

- ② 綜合剛性、柔性鋪面之各項特性，考量服務年限、機場營運考量、氣候耐受性、維護容易性、施工技術純熟度以及生命週期成本等評估等特性，將優先考量採用剛性鋪面進行第三跑道規劃。

(2) 新科技運用

- ① 目前應用電子 RFID 與平板進行設備的週期性定期巡檢（依設備的特性設定巡檢週期並自動通知需巡檢的設備與設定巡檢路線）。
- ② 在監測設備上，電力、空調、水資源上設有感應器回傳數據，再分配人力。未來將視狀況導入遠端操控的應用，加入新設備。

2. 公路總局

(1) 調適作為

- ① 未納入蘇花改的路段，透過推動「蘇花公路安全提升計畫」規劃長度約 19.1 公里，分為長約 9.4 公里的東澳~南澳段，長約 4.8 公里的和平~和中段以及長約 4.9 公里的和仁~崇德段，部分路段改走新路線，部分路段與舊蘇花公路共線，可行性研究已於 2019 年 12 月 20 日獲得行政院同意，希望能在 2022 年底通過環境影響評估，並開始動工。
- ② 關鍵設施容受力的提升，未來預計研擬以聯合國因應氣候變遷第 5 次評估會議 RCP8.5 為想定情境下，打造蘇花、中橫、南迴、西快及 12 條東西快等生命線，於極端天氣事件下的韌性防災公路。
- ③ 經歸類為「優先關注邊坡」，優先納入於省道改善計畫（108 年-113 年）逐年辦理進階檢測補強或整治，並輔以科技巡檢技術，以利研判邊坡危害因子，期能事先預防整治。

(2) 新科技運用

物聯網監測是公路總局目前科技應用 2.0 的方向，就感知層→傳輸層→應用層，目前傳輸層速度過慢有待 5G 之應用解決時間差的問題。

(3) 調適策略調整建議

執行機關（構）除依據部頒規範執行相關建設與營運管理外，亦有自行研擬相關的作業流程，如科技巡檢 SOP、邊坡定量分級管理 SOP 等。

3. 高鐵公司

(1) 調適作為

- ① 其他地區或類似運輸系統發生極端天氣事件時會再針對路線與設施進行整體檢討與評估，例如日本北路新幹線淹水事件發生後，經盤點檢討烏日基地為風險最高之處，目前已有進行檢討與評估改善計畫。
- ② 邊坡目前也導入光達技術進行掃描，減少人力的負擔。
- ③ 使用軌道車搭載斷層掃描儀器針對隧道斷面進行掃描，將隧道的曲面攤平，可查看隧道的裂縫與漏水的狀況。

(2) 新科技運用

新科技的導入上保持較嚴謹的態度，例如會先以租借的方式試用，確認其適用性與實用性，如果成效與成本達到平衡再採購或使用，而非直接購入。

4. 小結

在調適行動計畫上以規劃設計與營運管理兩大面向為主，在調適的新作為上，以桃園機場來說，除了將淹水與高溫風險納入新建設的考量外，也與機場的利害關係人共同討論機場營運上如何因應氣候變遷，共同研擬調適措施；公路總局目前的營運管理作為多為防減災，考量未來環境的持續變遷，未來將以「韌性公路」的概念建立能在氣候變遷衝擊下發揮緊急搶救功能之生命線公路；高鐵公路則會借鏡其他國家所發生的氣候衝擊事件，評估這樣的事件衝擊對高鐵系統的風險，並據以調整系統。機關（構）在調適的新科技導入上則面臨傳導速度上與成本投入上的限制，期望在未來可逐一解決。

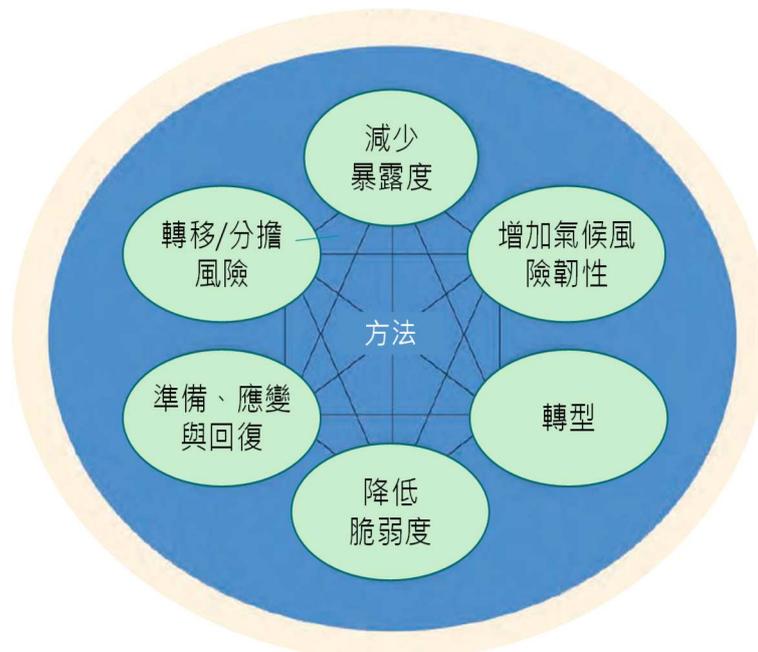
4.5 調適策略檢討調整說明

1. 調適策略架構檢討

考量氣候變遷環境下，極端天氣事件對運輸維生基礎設施的潛在威脅日益嚴峻且迫近，故進一步參採 IPCC 建議的氣候變遷風險管理的理念，重新再結構運輸系統的調適策略，期更有系統地強化運輸系統氣候變遷風險管理工作。

IPCC 於 2012 年發布的《促進氣候變遷調適之風險管理-針對極端事件及災害給決策者摘要》(Summary for Policymakers: Managing The Risk of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation Summary for Policymakers)^[43]所揭示的 6 大風險管理方法如圖 4.5.1 所示。其中包含減少暴露度與降低脆弱度，因兩者決定天氣事件衝擊的程度；增加氣候風險的韌性即是降低系統中斷營運的風險；轉型為改變組織的價值、思維、規定、預算、技術能力等，以利調適的執行；而轉移/分擔風險、準備、應變與回復等面向除了針對系統本身，亦涉及跨運輸系統整合事項。

融合上述 IPCC 建議之氣候變遷調適風險管理方法，調整 108 年計畫「調適策略四大構面」為「運輸系統調適四大策略」(圖 4.5.2 及表 4.5-1)。



資料來源：IPCC, Managing The Risk of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation Summary for Policymakers, 2012.

圖 4.5.1 因應極端事件促進氣候變遷調適風險管理方法

運輸系統調適四大策略(參考IPCC)



資料來源：本計畫繪製。

圖 4.5.2 運輸系統氣候變遷調適目標及四大策略

表 4.5-1 調適策略架構調整前後對照表

108 年計畫		109 年計畫	
四大 調適構面	一、提升衝擊耐受力	運輸系統 四大調適策略	一、提升氣候衝擊耐受力
	二、強化預警應變力		二、降低氣候衝擊脆弱度
	三、提高系統回復力		三、優化氣候衝擊反應力
	四、增進決策支援力		四、建構氣候衝擊決策力

資料來源：本計畫彙整。

以下依據運輸系統四大策略架構依序說明調整後之策略與措施內容：

(1) 策略一：提升氣候衝擊耐受力

衝擊耐受力係指設施在可維持其正常功能下可承受的最大衝擊限度。在 IPCC 的六大調適方法中屬於「增加氣候風險韌性」的作為，於受天氣事件衝擊前先強化設施體質。

(2) 策略二：降低氣候衝擊脆弱度

設施持續老化或缺乏維護均會影響設施的耐衝擊限度，故風險監測與預防性的養護¹，以維持設施的狀態對設施的衝擊耐受力事關重要，為天氣事件衝擊前強化的概念。系統的脆弱度因子，如暴露度、設施形式、重點監測、邊坡等級以及設施年期等都會影響設施於氣候變遷環境下的脆弱度。

此外，在天氣事件衝擊下，各運輸系統是否有替代的內部或外部備援，以利客運與貨運可持續運送，備援除基本的替代路線外，也包含替代設備、運具與接駁運具等概念。

在 IPCC 的六大調適作為中屬於「減少暴露量、降低脆弱度」的作為，於受天氣事件衝擊前先做預為調整管理作為。

(3) 策略三：優化氣候衝擊反應力

反應力係系統受天氣事件衝擊時，可因應與調度的能力，為天氣事件衝擊中因應的概念。透過強化資訊網絡等有利於整合與運用不同系統之資源與人力，可提高應變能力並縮短決策與資源調度所需之時間。

系統回復力係指運輸系統在受到天氣事件衝擊後可回復到其原有運輸能力所需的時間，為天氣事件衝擊後的階段。回復力的強弱與搶修的人員及資源相關，透過完善的培訓與可快速掌握的資訊，可縮短系統在短期回復到基本維生能力及長期回復到其原有運輸能力的時間。

反應力作為在 IPCC 的六大調適作為中屬於「準備、應變和復原」的作為，於受天氣事件衝擊後的因應與回復。

(4) 策略四：建構氣候衝擊決策力

具韌性的運輸系統需要足夠的謀略，以支援運輸系統在面臨各種情況下的維持其基本功能。此策略主要在於支持其他 3 個策略的落實，建構有助於提高策略執行成效的能力，例如相關資料庫的建置、跨域整合以及與利害關係人的溝通或合作等。

¹ 在設施損壞前即採取一些必要的技術手段，使功能一直保持較好的狀態，例如：在公路鋪面出現裂痕時即進行裂縫填封、表面封層處理等，以避免後續生成坑窪。

2. 調適策略檢討前後對照

在「建構具氣候變遷韌性的運輸系統」目標的指導之下，本計畫依循 ISO14090 揭示的 10 大調適原則（參見前文之圖 2.3.2）再檢視策略內容。

依據上述調整後之四大調適策略架構，進一步重新組構 108 年調適策略內容，於此同時，納入滾動檢討作業各步驟所獲得之啟示、意見及建議，綜理為 15 項調適措施，如圖 4.5.3 及表 4.5-2 所示。



資料來源：本計畫繪製。

圖 4.5.3 運輸系統氣候變遷調適四大策略及 15 項措施架構示意圖

表 4.5-2 調適措施（策略）調整前後對照表

109 年計畫(調適措施)		108 年計畫(調適策略)		109 年計畫調整說明
1-1	建立設施安全性與風險評估方法、 <u>風險基準</u> 並定期評估	10	建立設施安全性與風險評估方法並定期評估	<ul style="list-style-type: none"> ■ 參考國外風險管理機制與調適研擬流程，風險基準（即為可承受之風險）為重要的調適計畫研擬依據 ■ 機關（構）需進行風險評估並制定可承受風險等級，如評估結果超過可承受之等級即可做為調適計畫研擬依據，補充風險基準
1-2	檢討並將氣候調適概念納入規劃、設計、施工及養護相關規範與作業程序	2	檢討並修訂規劃、設計、施工及養護相關規範	<ul style="list-style-type: none"> ■ 參考設施管理機關（構）作業方式 ■ 設施管理機關（構）為執行調適業務有研擬其作業流程依循，故補充作業程序
1-3	迴避高風險潛勢地區並考量周邊環境關係， <u>持續發生受損阻斷之系統點位</u> 規劃改線、廢線	1	迴避高災害潛勢地區並考量周邊環境關係	<ul style="list-style-type: none"> ■ 本計畫成果建議 ■ 為避免運輸系統設施管理機關（構）混淆防災與調適，將高災害潛勢地區調整為高風險潛勢地區 ■ 補充持續發生受損阻斷系統應規劃改線/廢線的迴避作為
1-4	運用或研發有助提升衝擊耐受力之科技、材料、工程工法與設備	3	運用或研發有助提升衝擊耐受力的材料、工程與設備	<ul style="list-style-type: none"> ■ 本計畫成果建議 ■ 因新科技的運用可提高系統的衝擊耐受度，故納入科技
2-1	檢討並調整氣候變遷環境下之風險監測	4	檢討並調整巡檢制度與風險監測	<ul style="list-style-type: none"> ■ 本計畫成果建議 ■ 巡檢為非氣候變遷環境下就需執行之工作，且可透過措施 1-2 檢討，故刪除 ■ 補充風險監測的調整須立基於氣候變遷環境下
2-2	加強跨運輸系統間的 <u>運輸連結性</u>	5	加強跨運輸系統介面及重要維生基礎設施聯外/聯絡道路衝擊耐受力	<ul style="list-style-type: none"> ■ 本計畫成果建議 ■ 重點為運輸系統節點間的聯繫，故將用字簡化以加強重點
2-3	建立運輸系統設施的 <u>內部與外部</u> 備援方案	7	建立運輸系統設施的備援方案	<ul style="list-style-type: none"> ■ 本計畫成果建議 ■ 為避免機關（構）僅探討內部備援，故補充須包含內部與外部的備援機制，以利降低系統在氣候變遷環境下的脆弱度

表 4.5-2 調適措施（策略）調整前後對照表（續）

本計畫(調適措施)		108 年計畫(調適策略)		本計畫調整說明
3-1	建構跨運輸系統預警應變網絡	6	運用或研發有助提升預警精度與速度的科技與設備	<ul style="list-style-type: none"> ■ 參考聯合國《運輸網絡及節點的氣候變遷衝擊評估與調適》及 COP 會議 ■ 預警應變作業除仰賴氣象資料外，亦有機關（構）間的合作，故調整為跨運輸系統的預警應變網絡
3-2	建立分階段復建原則	9	建立分階段復建原則	<ul style="list-style-type: none"> ■ 無調整
--	--	8	運用或研發有助提升復建效率的科技、工法與材料	<ul style="list-style-type: none"> ■ 本計畫成果建議 ■ 新科技可於所有階段提高系統耐受度，故整合於措施 1-4
4-1	建立調適計畫投資決策評估方法	11	建立氣候變遷調適計畫投資決策評估方法	<ul style="list-style-type: none"> ■ 本研究成果建議
4-2	<u>建立調適計畫監控、評估與學習機制</u>	--	--	<ul style="list-style-type: none"> ■ 參考 COP 會議，ISO14090 調適計畫原則 ■ 加入調適計畫監測、評估與學習機制，以利計畫達到目標，並可從中學習，加值後續計畫
4-3	建置氣候風險管理與調適計畫研擬所需資料庫及工具	12	建置風險管理所需資料庫及支援系統工具	<ul style="list-style-type: none"> ■ 參考 COP 會議，ISO14090 調適計畫原則 ■ 調適計畫的資料庫至關重要，如決策所需數據、執行計畫等
4-4	培育氣候變遷風險管理與調適專業人才	13	建立氣候變遷風險管理與調適專業組織及培育人才	<ul style="list-style-type: none"> ■ 參考設施管理機關（構）業務分配 ■ 調適專業組織在現階段機關（構）業務分配較不適合，故專注人才培育
4-5	<u>推動氣候調適跨域整合推動平台與機制，加強資訊共享</u>	14	建立氣候變遷調適跨域整合推動平台與機制，加強資訊共享	<ul style="list-style-type: none"> ■ 本計畫成果建議 ■ 調整用字為推動，鼓勵機關（構）可有彈性的執行此措施
4-6	<u>辨識利害關係人並與其溝通或合作調適計畫</u>	15	針對利害關係人進行氣候變遷風險溝通	<ul style="list-style-type: none"> ■ 參考 COP 會議、ISO14090 調適計畫原則、韌性鐵路指南 ■ 利害關係人溝通或合作可提升調適計畫效益，故補充合作

註：標註底線之文字為差異之文字。

資料來源：本計畫彙整。

4.6 調整後調適策略

4.6.1 策略一：提升氣候衝擊耐受度

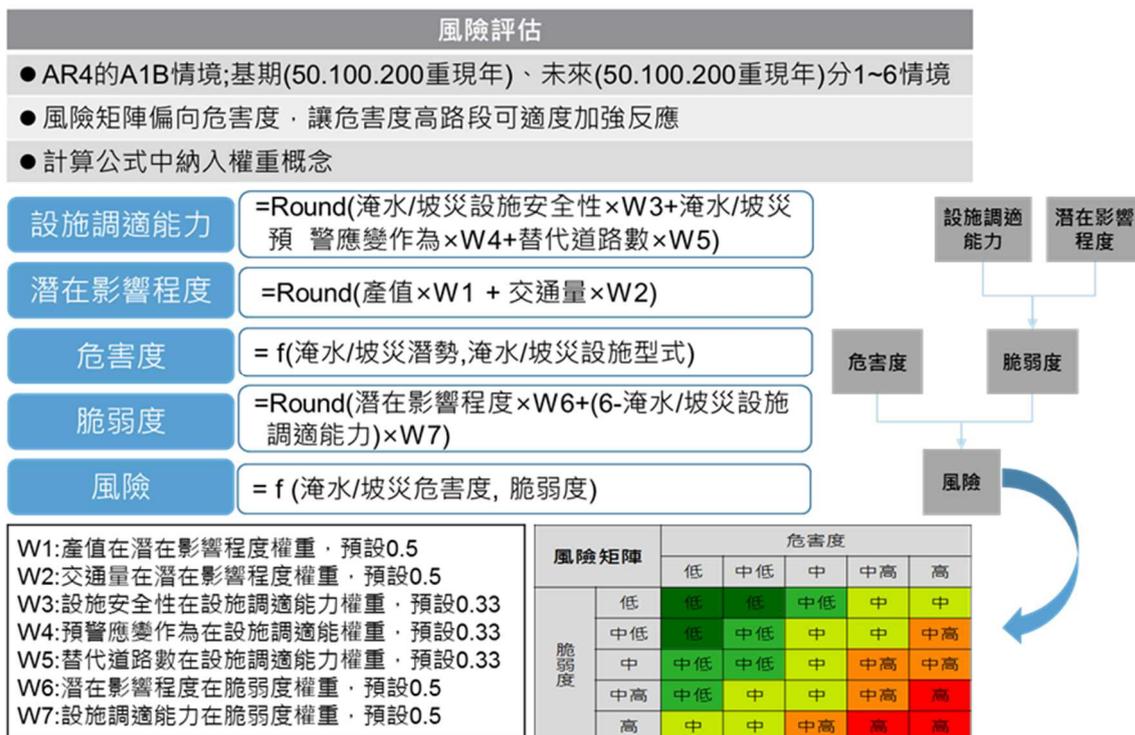
1. 措施 1-1：建立設施安全性、風險評估方法、風險基準並定期評估

在進行設施新建、改善與強化前，須先掌握設施的安全狀態，而設施安全性往往也是風險評估過程中所需的重要指標。當前各系統設施管理機關（構）大多會針對既有重要設施進行定期或不定期的安全性檢視及管理，但檢測標準與方法各不相同，並非所有機關（構）均已設定明確的設施安全性標準及評估方法。

考量氣候變遷威脅日增，為確保設施在氣候變遷衝擊下的安全性，建議應針對因天氣事件影響而無法正常營運之虞的設施，例如：邊坡、橋梁、跑道、防波堤等，建立安全性標準與評估方法；對於已建立標準與評估方法者，則應持續優化精進，以進一步掌握系統設施因天氣事件衝擊而受損的不確定性，幫助管理者安排採取調適行動的區位優先順序。

另外，建議各系統設施均應建立個別之氣候變遷風險評估方法並視不同設施之特性訂定風險基準（即為可承受之風險）。上述設施安全性及風險評估，除了應定期或於重大天氣事件衝擊後予以評估之外，更建議於調適計畫執行後持續監測，藉由風險值的變化，做為檢視計畫是否達成預期成效的參考依據，視情況調整計畫作為，也可於後續依此研擬新的調適計畫，持續縮小調適缺口。

考量鐵公路系統涵蓋範圍極大，且為運輸服務的重要基礎（海空運輸設施均需鐵公路系統聯外），故本所已先行針對全臺重要鐵公路氣候變遷風險評估方法（圖 4.6.1），惟該套方法屬於大尺度評估，且僅聚焦於淹水及坡災，因風險資訊成果已移轉給鐵公路設施管理機關（構）（詳第五章），建議鐵公路管理機關（構）未來可擴大考量天氣事件範疇，並持續精進風險評估方法與評估指標，令評估結果更可靠。海空運輸系統方面，因屬單點式場域，相對不適合採用大尺度評估，故建議設施管理機關（構）參考先進國家的風險評估流程與作法（詳 2.6 節），建立我國機場及商港的風險評估方法，以做為氣候變遷中長期調適規劃的依據。



資料來源：交通部運輸研究所，鐵公路氣候變遷調適行動方案之研究，民國 107 年。

圖 4.6.1 鐵公路氣候變遷風險評估流程與方法示意圖

綜上，本措施重點與建議執行單位簡要歸納如下：

(1) 設施管理機關(構)

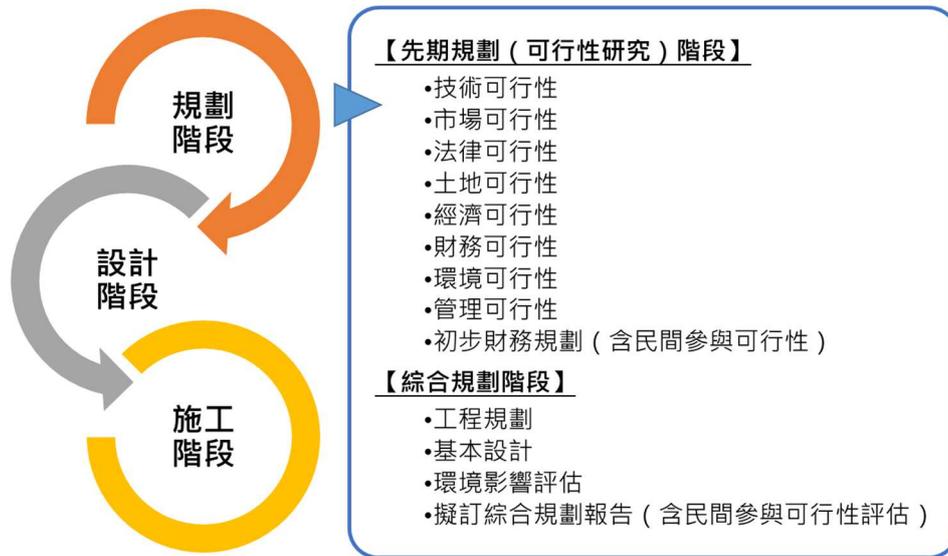
- ① 建立設施安全性標準與評估方法並持續精進。
- ② 建立氣候變遷風險評估方法，訂定可承受之風險基準並持續精進。
- ③ 定期或於重大天氣事件衝擊後評估設施安全性與風險等級。

2. 措施 1-2：檢討並將氣候調適概念納入規劃、設計、施工及養護相關規範與作業流程

鑑於氣候變遷導致極端降雨、熱浪、強烈熱帶氣旋活動發生頻率與強度遽增，但既有運輸系統設施之相關規範與作業流程普遍未將氣候變遷因素納入考量，在此情況下，設施於未來恐將不足以抵擋極端天氣事件所帶來的衝擊，故有必要重新審視與檢討規劃、設計，養護以及施工相關規範與作業流程，將氣候變遷與調適的概念納入，提升系統在氣候變遷環境下的耐受度。

上述規劃、設計、施工及養護相關規範與作業流程之檢討，除了以歷史發生之最嚴重天氣事件做為規範之檢討依據外，更須將預測之氣候變遷情境下的現況及未來風險（利用氣候變遷情境與風險評估之分析結果，參見措施

1-1) 納入考量，並明確規範在設施規劃階段(可行性研究、綜合規劃)(圖 4.6.2) [44] 須評估未來可能遭遇的天氣事件衝擊影響，並研擬因應策略。



資料來源：1.行政院公共工程委員會，公共建設工程經費估算編列手冊總則篇，民國 107 年 2 月修正版。

2.行政院經濟建設委員會(現為國發會)，公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊(97年版；上冊)，民國 97 年 10 月。

3.本計畫彙製。

圖 4.6.2 公共建設計畫辦理程序

此外，亦建議規範設施之規劃、設計及施工規則，將分析及模擬結果納入設計(包含機場主計畫與設備計畫)與養護相關規範中考量。對於未達使用年限之運輸系統設施的補強及改善，考量其使用年限相對較短，故可視情況容許其略低於檢討修訂後之設計標準。

除了相關規範外，機關(構)也可透過研擬標準作業流程輔助相關的規劃、設計、施工與養護作為，例如公路總局研擬科技巡檢的標準作業流程與邊坡定量分級管理的作業流程，以利作業之執行。

在氣候變遷環境下，橋梁與相關設施均面臨更大的衝擊，需積極檢討與調整相關規範，以提升設施氣候衝擊的耐受度。

綜上，本措施重點與建議執行單位簡要歸納如下：

(1) 設施管理機關(構)依氣候變遷情境所致風險潛勢之分析與模擬結果進行下列工作：

① 檢討並提高設施抗氣候變遷環境標準。

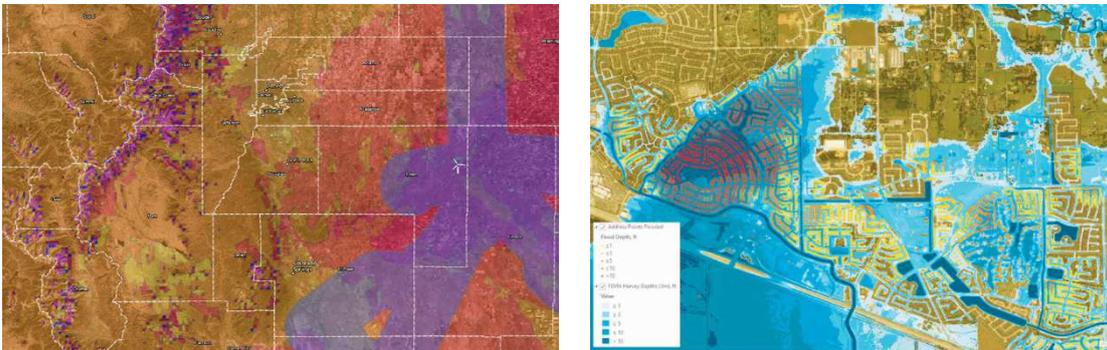
② 訂定氣候衝擊影響評估的標準與應用之參數。

③ 風險分析及氣候變遷模擬結果納入規劃、設計、施工以及養護相關規範、作業流程或手冊中考量。

(2) 交通部運輸研究所製作指導手冊，以利做為可行性評估與綜合規劃階段審查的參考。

3. 措施 1-3：迴避高風險潛勢地區並考量周邊環境關係，持續發生受損阻斷之系統點位規劃改線、廢線

運輸系統設施（包含交通控制系統等軟體設施）如座落於高風險地區，則其所能承受天氣事件衝擊的耐受力勢必較低。為避免上述先天不良的情形發生，新建與改建之運輸系統設施選址應考量與分析區域特性，主動避開高風險區位，如：地勢低窪地區、地質敏感區等，並考量周邊環境關係，如：地勢、流域、土地使用等，以避免除設施本身受衝擊外，也可能有將衝擊擴大化的情況。在選址上可應用 GIS 分析功能輔助，將數據視覺化，並搭配不同的氣候變遷情境模擬強降雨/海平面上升/暴潮等的衝擊。



資料來源：ArcGIS, 2020.

圖 4.6.3 GIS 選址分析示意圖

在氣候變遷之情境上可參考 IPCC 於第 5 次評估報告所發布之情境，以「代表濃度途徑」(Representative Concentration Pathways, RCPs) 做為 21 世紀末氣候狀態的模擬假設，共有 4 個情境 (圖 4.6.4)，說明如下：

(1) RCP2.6

人為溫室效應為 2.6 瓦/平方公尺，二氧化碳濃度為 421ppm。此情境屬暖化減緩的情境，是較為樂觀的情境。

(2) RCP4.5

人為溫室效應為 4.5 瓦/平方公尺，二氧化碳濃度為 538ppm。

(3) RCP6.0

人為溫室效應為 6.0 瓦/平方公尺，二氧化碳濃度為 670ppm。

(4) RCP8.5

人為溫室效應為 8.5 瓦/平方公尺，二氧化碳濃度為 936ppm。此情境係指各國未減排情境，屬於溫室氣體高度排放的情境，為相對悲觀的情境。

代表濃度途徑	定義說明	推估情形
RCP2.6	每平方公尺的輻射強迫力在 2100 年增加了 2.6 瓦	屬於暖化減緩的情境 (輻射強迫力在 2100 年呈減少趨勢)。
RCP4.5	每平方公尺的輻射強迫力在 2100 年增加了 4.5 瓦	屬於穩定的情境 (輻射強迫力的變化在 2100 年呈較為穩定狀態)
RCP6	每平方公尺的輻射強迫力在 2100 年增加了 6 瓦	屬於穩定的情境 (輻射強迫力的變化在 2100 年呈較為穩定狀態)
RCP8.5	每平方公尺的輻射強迫力在 2100 年增加了 8.5 瓦	屬於溫室氣體高度排放的情境 (輻射強迫力在 2100 年呈持續增加趨勢)

資料來源：科技部，災害管理資訊研發應用平台，<http://dmip.tw/>。

圖 4.6.4 代表濃度途徑情境

目前二氧化碳的減碳情形與樂觀的 RCP2.6 暖化情境相差較遠，且風險評估宜以未來可能的最劣情境進行評估，以避免低估可能的衝擊。設施管理機關（構）可就系統特性與可掌握之相關數據與資源選取適用的氣候變遷情境進行風險的評估並避免高風險地區。

另外，考量近年來以自然為本的調適作為越來越受重視，在新建於改建計畫考量周邊環境時可視情況納入以自然為本之方案，逐步回復環境的天然屏障，提高設施的天然耐受力。

部分道路經天氣事件衝擊後，並不適合再持續投入回復或持續使用，此時可思考與評估是否還路於大自然，讓地質與環境進入休養階段。

對既有設施，如因位處高風險地區而致使經常出現嚴重的受損，且經評估確認各種改善更新及其他技術與材料運用皆無法有效調適時，則應評估路線改線、場站遷建或研擬其他替代路線等方案，以確保運輸安全性與可靠度，並避免對大自然持續造成傷害（圖 4.6.5、圖 4.6.6）。

舉例而言，公路總局之蘇花公路以安全、可靠運輸服務及強化東部生命線道路耐受力為目標，以路段受損阻斷及交通肇事頻率高路段進行改善「東澳至南澳」及「大清水至崇德」改線之可行性計畫，全長 38.8 公里，有 8 座隧道（24.6 公里）、13 座橋梁（8.6 公里）、平面道路（5.6 公里）。



資料來源：交通部公路總局第四區養護工程處，<https://thbu4.thb.gov.tw/>。

圖 4.6.5 重複性嚴重受損設施改線案例-蘇花公路山區路段改善計畫

臺鐵局近年來也陸續提出改線計畫，如宜蘭線猴硐雙溪間線形改善工程可行性研究，該計畫曲線取直做新路線讓快慢車分流、列車提速，並避開高風險路段與地質敏感區域，提高行車安全。



資料來源：臺鐵局，民國 108 年。

圖 4.6.6 臺鐵改線計畫

綜上，本措施同時適用軟體設施（如交通行控中心）及硬體設施（如橋梁及路段）。本措施重點與建議執行單位簡要歸納如下：

(1) 設施管理機關（構）

- ① 新建設施選址應考量氣候變遷情境並迴避高風險地區。
- ② 與環境部會考量周邊環境關係，並視情況運用以自然為本之方案。
- ③ 就不適合回復原功能的路段評估修養、改道、廢線等方案。

4 措施 1-4：運用或研發有助提升系統衝擊耐受力的科技、材料、工程工法與設備

為提升設施衝擊耐受力，除避開高風險地區，並修訂相關規範之外，更重要的即是運用有助於實現提升衝擊耐受力的材料、工程與設備。

運輸系統在針對強降雨所致之淹水可透過設置防洪設施，如蓄洪或滯洪空間、透水保水設施等方式強化抗淹能力及預防淹水衝擊^[45]（圖 4.6.7）。

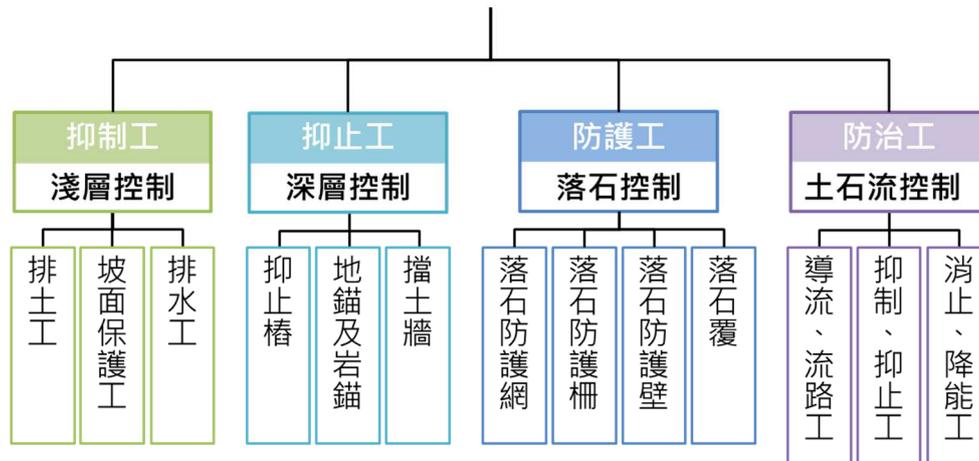


資料來源：經濟部水利署，因應氣候變遷防洪策略之排水系統與交通路網整合方案研究（1/2），民國 105 年、桃園機場公司。

圖 4.6.7 防洪設施示意圖

公路在面對強降雨導致之坡災則可施予坡面穩定工程，包括屬於強化性質的抑制工、抑止工以及偏向預防性質的防護工、防治工等^[46]（圖 4.6.8）。面對高溫與強降雨影響，可運用耐溫度變化之道路鋪面材料（如自我修復瀝青鋪面材料），並在工程施作時考量降雨的影響，多推廣應用多孔瀝青透水材料，降低雨天的積水與揚水（目前已在五楊高架、國道 6 號、南迴改應用）。

坡面穩定工法類型



資料來源：吳明溟，坡地災害及其防救，民國 107 年。

圖 4.6.8 坡面穩定工法類型

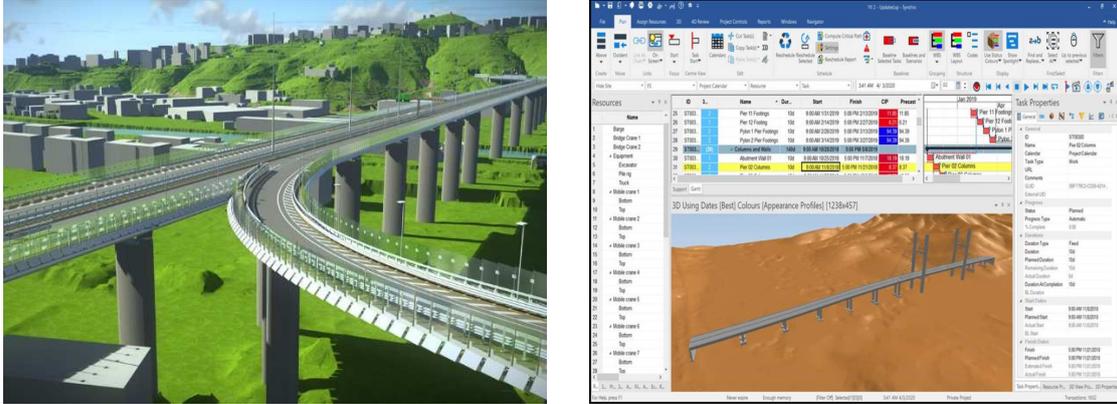
鐵路在因應高溫與強降雨的影響上，可運用長焊軌道、無碴軌道等作法因應高溫，降低軌道因高溫而變型與挫屈的風險，在強降雨上則可加強排水效能，運用 IoT 監測排水設施，以降低車站與軌道淹水風險。

商港對於暴潮及海平面上升威脅，則可透過提高胸牆（防潮堤）以及碼頭面高程等方式因應；機場則可評估延長跑道或是透過提升飛航管制設備與操作，以因應高溫或其他氣候干擾狀況時，可維持飛航容量。

以下簡要條列在本計畫界定之 5 大天氣/氣候事件下，應設法提升的衝擊耐受力，供設施管理機關（構）參考：

- (1) 防洪與透/排水能力（軟、硬體設施均需考量）。
- (2) 因應高溫衝擊能力（軟、硬體設施均需考量）。
- (3) 臨海系統設施承受海水衝擊之能力。
- (4) 臨海系統設施因應海平面上升之能力。
- (5) 易崩塌邊坡之坡面穩定度。
- (6) 路基、橋梁之耐沖蝕及耐淘刷能力。
- (7) 機場及商港設施承受強風或雨水衝擊之能力。
- (8) 機場設施承受高溫衝擊之能力。
- (9) 商港海域設施之防潮及防淤能力。
- (10) 航機、船舶、貨櫃及戶外營運設備於強風下的穩固度與防護能力。

為提升上述建議的衝擊耐受力，建議也可透過建立設施與周邊地區的數位分身，應用數位分身模擬當前與未來的氣候變遷環境下的淹水狀況、防洪能力以及新技術導入後的狀況，可做為決策上的支援並節省成本(圖 4.6.9)。



資料來源：Bentley, 2020.

圖 4.6.9 鐵公路數位分身示意圖

綜上，本措施重點與建議執行單位簡要歸納如下：

(1) 設施管理機關（構）

- ① 依氣候變遷情境所致風險之分析與模擬結果，並視資源與需要應用科技、材料、工程工法與設備提升設施耐受度。
- ② 推動示範或先導計畫應用科技、材料、工程工法與設備並監測其提升衝擊耐受度的成效。
- ③ 彙整國內各研發單位技術並進行國外新技術的交流與移轉。

4.6.2 策略二：降低氣候衝擊脆弱度

1. 措施 2-1：檢討並調整氣候變遷環境下之風險監測

風險監測為設施管理機關（構）確保設施狀態與道路正常營運之重要作為。對天氣事件及其所致傷害的應變有賴相關的氣象及環境資訊（如：河川水情、橋梁安全、坡地環境等）做為支持，而相關資訊的取得則賴監測設施的設置。根據訪談，各設施管理機關（構）目前均設有相關的監測設施，並在未來會針對監測設備不足的路段加密 CCTV（如高公局、臺鐵局）。另外，國內外也積極發展物聯網，以提高風險監測的精度與回傳之速度，並可就回傳的監測資料預測需維護管理或應變行動的時間點，降低系統的脆弱度。

在風險監測方面，各單位大多利用氣象局發布之觀測資訊，並結合監測設施的數據，做為相關應變行動門檻的判斷依據^[47]。然而，部分單位（如港務公司）表示目前氣象局提供的資料較粗，影響預警應變的精度與速度。故設施管理機關（構）可思考建置成本較低之微型氣象站，將蒐集之小尺度資料與氣象站之大尺度資料整合，以利掌握更細緻之氣候資料，輔助應變。

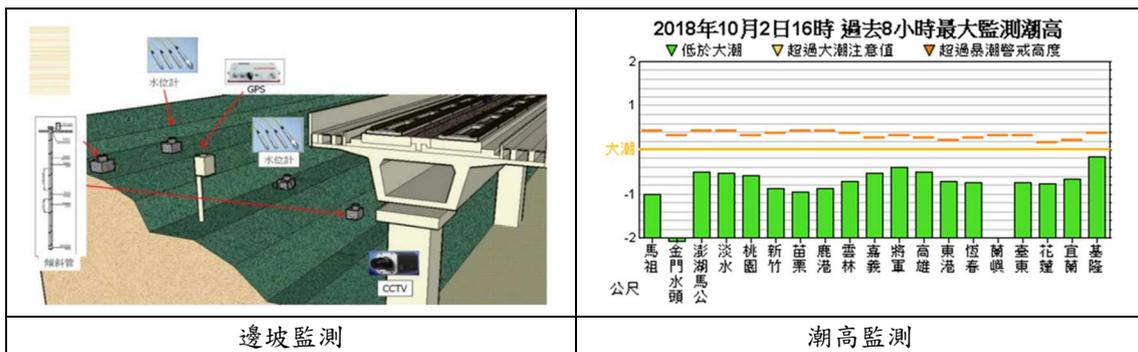
有鑑於在氣候變遷環境下，天氣事件生成及帶來影響衝擊的頻率、強度與速度俱增，為能提升預警應變的能力與效率，建議應對既有的風險監測制度進行檢討並調整優化，並應用科技輔助監測，例如感應器結合 IoT 與 AI 即時計算，讓養護的人力分配更有效率。監測設施則應定期檢討及調整設置點位與數量，以因應環境的持續變動，並儘量提高即時監測的涵蓋面（圖 4.6.10）。

綜上，本措施重點與建議執行單位簡要歸納如下：

(1) 設施管理機關（構）

- ① 檢討及調整監測設施的設置點位與密度。
- ② 加強即時監測的涵蓋面。
- ③ 思考應用微型氣象站蒐集之小尺度資訊結合氣候局之大尺度資料做數據的微調，以利更完善掌握設施周邊之氣候狀態。

(2) 氣象局加強相關氣象資訊之提供。



資料來源：1.左圖：教育部，氣候變遷調適專業融入補充教材-維生基礎設施（交通系統）領域（2017年版），民國106年。

2.右圖：交通部中央氣象局網頁，民國107年。

圖 4.6.10 風險監測設備與資訊示意圖

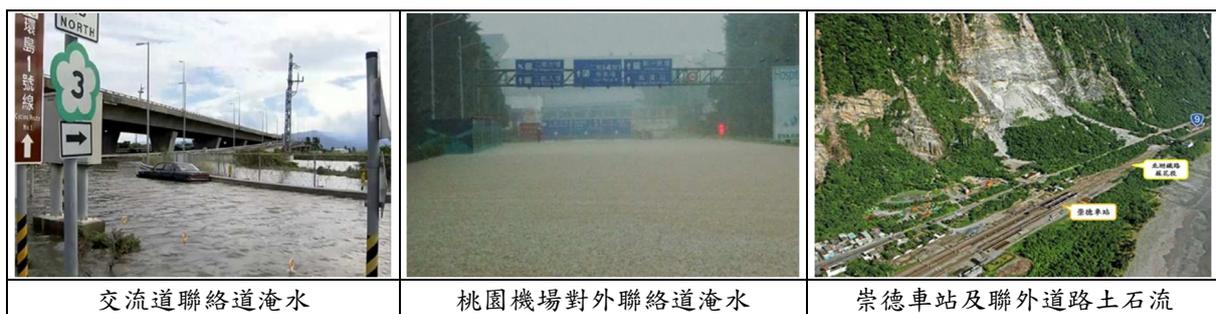
2. 措施 2-2：加強跨運輸系統間的運輸連結性

運輸系統設施除了提供客貨運輸功能之外，更是其他重要維生基礎設施

在受天氣事件衝擊後進行修復的重要聯絡通道。為能在氣候變遷環境下儘量維持上述應有功能，除了應設法確保運輸設施主體不被天氣事件帶來的衝擊損壞外，更要避免跨運輸系統間的阻斷而致使運輸功能無法正常運作，連帶影響其他重要維生基礎設施（圖 4.6.11）。基此，對於跨運輸系統間及重要維生基礎設施聯外/聯絡道路的運輸連結性，實有必要加倍強化，以維持運輸系統的運輸能力。

承上，建議設施管理機關（構）彼此間之連結性加以強化：

- (1) 國道及快速公路交流道及其聯絡道路。
- (2) 鐵路車站聯外道路。
- (3) 機場及港口聯外道路。
- (4) 重大儲油、儲氣、儲水、儲電設施聯外道路。



資料來源：1.左圖：<https://news.tvbs.com.tw/world/751397>
 2.中圖：<http://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1716856>
 3.右圖：土石流防災資訊網。

圖 4.6.11 運輸系統介面受天氣事件衝擊示意圖

3. 措施 2-3：建立運輸系統設施的內部與外部備援方案

為因應運輸服務受極端天氣事件侵襲而阻斷的狀況，個別運輸系統均應規劃系統內部與跨運輸系統的備援方案，舉例來說：公路系統應規劃其系統內的替代路線，另外也需考量外部跨運輸系統的備援方案，如以國道為例，當其系統內的替代路線無法作業時，需規劃以省道做為替代道路；鐵道則需規劃接駁運具，以利接駁至其他的運輸系統，此項工作除設施管理機關(構)外也涉及運輸業者（圖 4.6.12）。



資料來源：交通部、臺鐵局。

圖 4.6.12 鐵公路的跨運輸備援方案

機場則應規劃備援機場、緊急轉降路線與接駁運具等；商港亦應規劃備援商港或接駁的運具，以儘量維持基礎的客運與貨運能力。考量外部跨系統的備援機制牽涉及影響層面較廣，建議可先以全國及區域角度規劃整體備援體系與運作機制，做為各運輸系統發展上的參考。

另外，目前的道路阻斷資訊係透過警廣、機關（構）開發的 app 或是細胞廣播服務（Cell Broadcast Service, CBS）與可變式告示牌做資料的傳遞，但許多時候無法涵蓋到所有民眾，建議可將道路阻斷的資訊與導航系統合作，以加強替代路線與替代運具等的資訊傳播。未來在 IoT 持續發展下，車輛間的資訊傳遞也可加強此資訊的傳播。

綜上，本措施重點與建議執行單位簡要歸納如下：

(1) 設施管理機關（構）

- ① 研議運輸系統內部備援體系與運作機制與外部跨運輸備援體系與運作機制。
- ② 與運輸業者規劃系統內部及外部跨系統的備援設施、替代路線（如國道與省道間的替代、航機轉降路線）、替代運具及接駁運具等。
- ③ 強化道路阻斷資訊與替代路線的資訊傳遞。

4.6.3 策略三：優化氣候衝擊反應力

1. 措施 3-1：建構跨運輸系統應變網絡

受天氣事件衝擊時的風險資訊傳遞方面，各單位多透過媒體發布預警訊息，部分單位則進一步利用資訊看版、行動 app、CBS 等傳遞訊息，期藉此

提升預警速度。借鏡於國外案例與機關（構）之建議，未來也可思考共享系統間的預警資訊，以互享資源並達到資訊發佈的互通，例如國道的資訊看板可顯示省道的替代路線，達到互相支援的效果，爭取用路人應變的時間。另外，也可應用 App 結合導航，推播替代道路。

承上，為持續提升天氣事件影響的預警精度與速度，建議除應針對天氣事件影響的機率進行研究，研發相關科技外（如區域降雨雷達網、預警系統、信令資料應用於可能受影響之區域之民眾），與國外密切交流與移轉新技術，並就「前瞻基礎建設計畫」所提的「建構民生公共物聯網計畫」互通資訊，同時多加利用免費社群網路做為資訊傳遞工具，增加資訊傳遞速率。另外，也可透過新技術，如人工智慧的導入，利用影像辨識的輔助辨識高風險的邊坡或是有風險的軌道設施，以利加速應變與降低風險。

綜上，本措施重點與建議執行單位簡要歸納如下：

(1) 設施管理機關（構）

- ① 彙整國內外各研發單位技術。
- ② 共享資訊，以加強應變與橫向聯防。
- ③ 利用免費社群網路做為資訊傳遞工具。
- ④ 進行天氣事件衝擊機率研究。

2. 措施 3-2：建立分階段復建原則

復建標準除了與修築成本的高低有關外，亦將影響修復所需的時間長短。目前國內的運輸系統設施尚無部頒的分階段復建原則，修復標準係依設施之設計規範，然而，國內部分運輸系統設施所處的地質環境在 921 地震及近年數個颱風侵襲後呈現極度脆弱狀態，短期內恐無法回復到適合採取永久復建的條件，此時如採取永久復建的工程方式，除了修復時間長，所需成本龐大外，當下一次的天氣事件來襲，極有可能再次發生落石或崩塌。

考量上述特性，未來可依運輸系統設施所在區域的回復程度進行分級，並依此建立不同階段的復建原則，參考公路總局目前已有在執行的分階段復建作為，建議其他運輸系統參考此作為，建議分階段可分為回復度高、回復度一般、回復度低等 3 種位階。屬回復度高者，須完全依據設計規範標準，且至少需回復至原有功能；屬回復度低者，則可採簡易修復方式進行，例如：採用高時效、低成本的便道或便橋予以修復，並輔以必要的時段或通行數量管理措施，確保用路人安全；屬於回復度一般者，則不要求百分之百恢復

原功能。為落實上述原則，未來則須研議簡易修復之相關規範，以供設施管理機關（構）依循。

受損範圍在難以確切掌握之情況下，復建對策應優先考慮避開。如無法避開或避開方案之工程費用太高而必須選擇原址重建時，後續則應透過既有資料蒐集、地質水文調查，監測等作為，研析衝擊原因與受損模式，再據以決定復建工法，並進行設計，以利長期之安全（圖 4.6.13）。

綜上，本措施重點與建議執行單位簡要歸納如下：

(1) 設施管理機關（構）

- ① 依運輸系統設施地區回復程度建立分階段復建原則。
- ② 蒐集資料掌握受損範圍回復狀態，決定復建期程與工法。
- ③ 彙整國內各研發單位技術。

(2) 交通部

- ① 研議簡易修復相關規範。



空載光達3D數值建模技術

資料來源：<https://read01.com/LdLP6aD.html#.W7MsWXszavE>

圖 4.6.13 衝擊後勘查之科技示意圖

4.6.4 策略四：建構氣候衝擊決策力

1. 措施 4-1：建立氣候變遷調適計畫投資決策評估方法

為能讓有限的預算做最有效的運用，交通建設計畫的投資均會利用財務評估或經濟效益分析的方式，來評判計畫是否值得投資（目前鐵公路機關係使用國發會的「公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊」^[48]評估與提報計畫），或據以排定推動優先順序。

然而，受到調適成本與效益估計不易等限制，目前我國的計畫審議決策

過程大多未將調適成本納入考量，而調適計畫的效益亦尚未有明確的估算方法與標準可依循，致使調適計畫的必要性不易具體表述，計畫之間也無法比較效益。

反觀國外先進國家之作法，除了低成本且可立即執行之調適計畫會優先於短期執行外，中長期計畫大多會透過方案的評估決策機制來決定推動的優先性（如應用多準則評估方法、成本效益評估或是成本效果評估等方法）。為期使能具體呈現調適計畫之效益，凸顯調適計畫的必要性，建議交通部著手研議運輸系統氣候變遷調適計畫的投資評估方法，做為投資決策之參據。

綜上，本措施重點與建議執行單位簡要歸納如下：

(1) 設施管理機關（構）與運輸研究所

- ① 研議氣候變遷調適計畫成本效益評估方法並持續檢討與精進。

(2) 設施管理機關（構）

- ① 規範調適計畫於預算申請時需檢附計畫之成本效益評估做為佐證。

資料來源：National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2020. Incorporating the Costs and Benefits of Adaptation Measures in Preparation for Extreme Weather Events and Climate Change Guidebook. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25744>.

圖 4.6.14 調適計畫成本效益評估輔助軟體示意圖

2. 措施 4-2：建立調適計畫監控、評估與學習機制

因資源有限，故調適計畫與其他計畫競爭著資源，需確保計畫執行可確實達到其設定之目標，以利調適計畫持續被重視並挹注資源。參考國外調適之趨勢，應建立調適計畫監測、評估與學習機制。透過管理調適計畫每個環節的辦理，並掌握環境上的變化，適時評估調適計畫的辦理成效，如有需要則調整辦理之方向，確保計畫之執行持續符合設定之調適目標，並於計畫辦理完成後檢討與分析可學習處，做為後續調適計畫辦理之參考。

綜上，本措施重點與建議執行單位為設施管理機關（構）建立調適計畫管理、監測與學習機制。

3. 措施 4-3：建置氣候風險管理與調適計畫研擬所需資料庫及工具

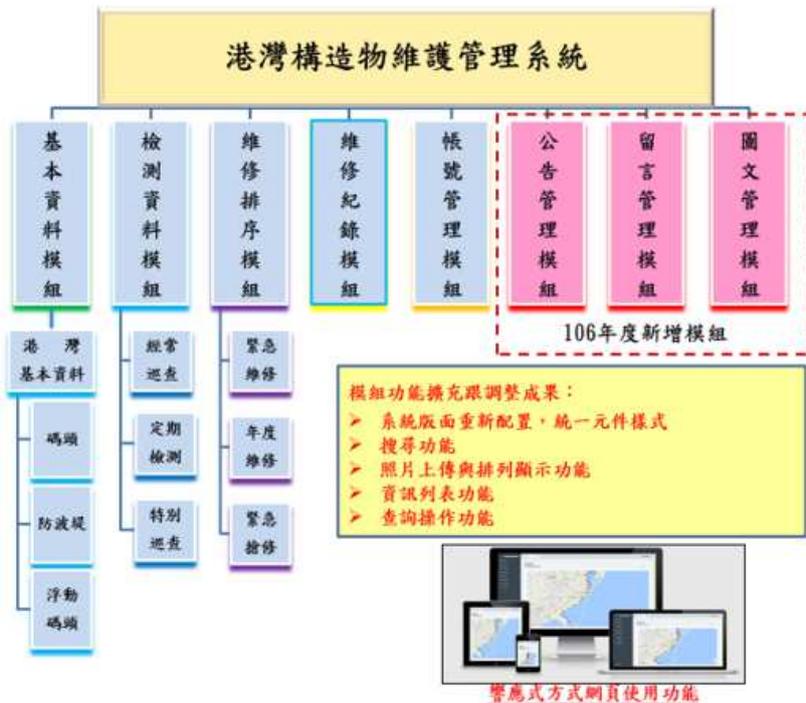
為能有效管理運輸系統設施於氣候變遷環境下的風險，除了需妥善管理設施並掌握其安全性外，更需藉由風險評估協助管理單位規劃調適計畫再利用計畫投資評估方法輔助決策計畫執行順序，而上述工作需要大量資料做為基礎。故建議各單位建置設施資料庫，包含規劃、設計、興建、維護管理等全生命週期各階段資訊，並納入風險管理基礎（圖 4.6.15）。



資料來源：公共工程委員會，民國 104 年。

圖 4.6.15 公共工程全生命週期

另外也開發管理系統，提高管理效率，以「運輸設施生命週期管理」的預防式養護概念改變以往的「反應式」養護方式，將生命週期成本的管理流程納入預算的分配及維修計畫的研擬，讓運輸設施能身強體壯、延年益壽，減少國家的財政負擔，並能在氣候變遷環境下維持基本功能，為國家社會提供更長遠的效益。對已完成設施資產管理系統開發的管理機關（構），如高公局、高鐵公司、公路總局等、港務公司^[49]等（圖 4.6.16），則持續優化系統。



資料來源：交通部運輸研究所，港灣構造物維護管理制度與資訊系統之推動與應用，民國 107 年。

圖 4.6.16 碼頭維護管理系統功能架構

風險評估指標大致包含設施暴露在環境下的危害程度、設施安全性、設施適應能力等面向，各設施管理機關（構）未來應依個別設施之風險評估指標，對相關資料進行長期且持續的蒐集建置。關於危害程度方面，雖然水利署、中央地質調查所、科技部等單位已建置有相關風險地圖，惟上述圖資均屬大尺度資料，僅適合做大範圍的風險初評，如欲做為調適策略及行動計畫之依據，建議各設施管理機關（構）應針對個別設施所處地區之現況及氣候變遷情境下的風險進行調查分析與模擬，以切合實際需要。而為提高風險管理效率，建議利用上述資料開發用於支援風險評估之資訊系統。

計畫投資決策方面，所需資料項目亦取決於評估方法及其使用參數。根據系列計畫文獻回顧之綜整，國外常見之評估方法包括「成本效益分析法」、「成本效果分析法」、「多準則評估法」等，而採用之評估參數大多包含投資成本、傷害風險降低所帶來的損害節省、社會或環境效益價值等，建議相關單位著手蒐集調適成本及歷次事件受損相關資料，為建置資料庫預做準備，相關成本效益評估所需資料如下：

(1) 基礎資料

- ① 氣候變遷情境與影響。

② 設施/設備的壽年。

(2) 成本項目

① 調適工程成本。

② 營運管理、折舊成本。

③ 其他成本。

(3) 效益項目

① 過往天氣事件造成的系統阻斷時間。

② 過往天氣事件造成的生命財產損失。

③ 過往天氣事件後的設施／設備修復方式與成本等。

④ 社會效益。

為提高計畫投資決策效率，建議開發計畫投資決策支援系統。

以上相關資料原則上應由各設施管理單位蒐集建置，而為達資料交換共享之目的，建議相關資料提供給交通部管理資訊中心進行倉儲管理。

綜上，本措施之重點與建議執行單位簡要歸納如下：

(1) 設施管理機關（構）建置風險管理所需資料庫，相關資料建議可以交通部管理資訊中心做為交換共享平台

① 設施全生命週期管理資料庫（即風險為基礎的資產管理概念）。

② 風險評估指標資料庫。

③ 風險潛勢調查分析與情境模擬。

④ 計畫投資評估參數資料庫。

(2) 設施管理機關（構）建置有助於提升風險管理效率之支援系統工具並持續優化

① 設施全生命週期管理系統。

② 設施風險評估資訊系統。

③ 氣候變遷調適計畫投資決策支援系統。

(3) 設施管理機關（構）開發有助研擬調適計畫的資料庫

① 調適方案/計畫、研究參考

② 氣候與歷史衝擊數據

4. 措施 4-4：推動氣候變遷調適跨域整合推動平台與機制，加強資訊共享

氣候變遷調適工作經常涉及不同運輸系統設施之間，甚至跨領域的溝通協調合作，例如：淹水或坡災成因往往不單純只肇因於設施本身，有時係與區域排水容量有關；河川橋梁沖刷問題則與河川之整治相關；部分大型邊坡坍塌問題之主要成因則與上方山坡地治理有關，而上述問題之權責單位至少涉及水利署、農委會、林務局、地方政府等，顯見運輸系統氣候變遷調適的推動與落實過程極需要跨域之間的整合與協力推動。

基於上述特性，目前各相關單位間已建立聯繫機制與協調平台，但根據設施管理機關（構）過往經驗，協調成效並非十分理想。基此，為提升整合成效，確實達成調適作為的妥善分工與執行，建議推動運輸系統氣候變遷調適整合與推動平台（針對涉及跨系統設施之調適工作），建立會診與協調機制，以有效協調跨領域、跨部門與單位間的分工並整合資源。

5. 措施 4-5：培育氣候變遷風險管理與調適專業人才

人才是因應氣候變遷調適的重要關鍵，具備風險管理與調適知識與技術的人才可利用專業協助系統設施避免或降低天氣事件帶來的衝擊，並協助促成跨領域整合。若各運輸系統設施從業人員能具備氣候變遷風險管理專業與能力，將有助於將調適作為納入系統全生命週期的各環節，增進調適成效。

根據機關（構）訪談，目前各運輸系統設施管理機關（構）普遍表示在推動氣候變遷調適相關工作上存在人才不足問題。此外，由於設施管理機關（構）人員多以土木工程背景為主，對於風險辨識、風險評估及改善策略的概念與專業能力亦相對不足。

針對上述問題，建議設施管理機關（構）未來持續辦理運輸系統氣候變遷調適議題研討，促進氣候變遷風險管理及相關知識與科技的交流傳遞，透過培訓機制提升內部人員的相關知識與專業素質（可思考以分階段方式培育人才，如分為規劃階段、設計階段與施工階段的執行人員所應具備的氣候變遷與調適的知識與技術），更極積的方式則可視需要建立調適專責單位，以提升調適工作推動量能。此外，積極於國內外交流調適相關知識與技術。

綜上，本措施之重點與建議執行單位簡要歸納如下：

(1) 設施管理機關（構）

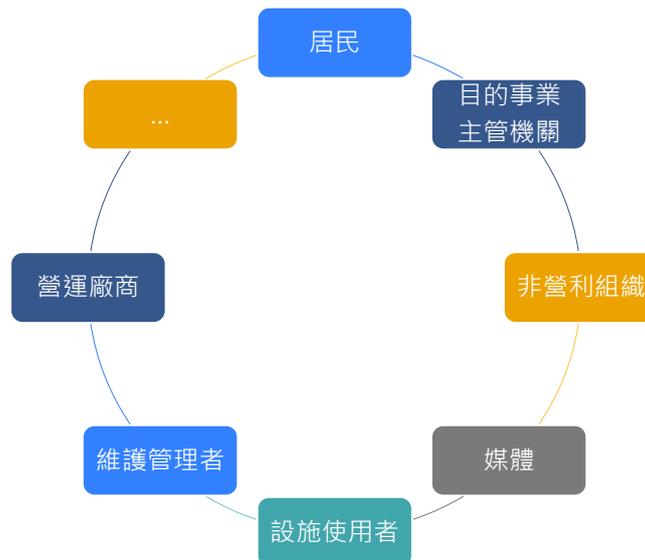
- ① 辦理運輸系統氣候變遷調適議題國內與國際研討。
- ② 建立氣候變遷調適人才培訓制度（可分階段培訓）。
- ③ 視需要成立氣候變遷調適專責單位。

6. 措施 4-6：辨識利害關係人並與其溝通或合作調適計畫

溝通為調適過程中重要一環，因溝通不僅可促使大眾了解風險，更可誘導利害關係人（個人、社區、企業等私部門）主動因應與管理風險。

運輸系統氣候變遷調適策略的落實除了透過設施管理機關（構）及相關部會等公部門的推動外，亦需利害關係人的支持、配合與共同實踐，就回顧國外文獻可發現，許多國家皆在調適計畫研擬的初期階段就納入利害關係人的參與，以達到共識凝聚之效果，並更完整掌握資訊，更順利推動調適計畫。

在利害關係人的溝通上，因民眾的背景多元，故需思考如何以科普且易懂的方式進行溝通，例如國外有以手機 app 遊戲模擬氣候變遷衝擊與調適作為，做為與利害關係人溝通的媒體。另外一個案例則是由華盛頓特區的 50 萬人聯合發起的將地球日的活動數位化。為了吸引民眾的注意，與線上撲克牌接龍遊戲「Solitaire Grand Harvest」合作在地球日發送給線上的 200 萬個玩家氣候變遷資訊的特殊任務，旨在刺激玩家思考如何幫助環境，透過遊戲使人們看到生產、消費和浪費的影響。以更有趣的方式傳達嚴肅訊息。



資料來源：本計畫繪製。

圖 4.6.17 利害關係人範疇



資料來源：<https://ccafs.cgiar.org>、<https://ec.europa.eu/clima/citizens/youth/>

圖 4.6.18 利害關係人溝通與氣候變遷寓教於樂

除溝通與取得共識外，參考國外之作為，鼓勵利害關係人合作調適計畫，合作可包含資訊上的蒐集與提供、調適共識上的推廣、調適計畫上的討論、建議與協助執行等，多種程度與階段的合作方式。

基於上述，建議交通部及設施管理機關(構)於未來先盤點利害關係人，並建立雙向風險溝通機制，以提高利害關係人的風險意識，並鼓勵其合作調適計畫，藉此提升氣候變遷調適策略及相關作為的總體成效。

綜上，本措施之重點與建議執行單位簡要歸納如下：

(1) 設施管理機關(構)

- ① 辨識利害關係人。
- ② 建立雙向風險溝通與資訊教育之機制。
- ③ 建立利害關係人可合作調適計畫的不同機制。

4.6.5 運輸系統調適策略與措施綜理

檢討後之調適策略內容可供交通部依《溫管法》第 13 條第 1 項規定研提調適策略之參考。為便於參考，彙整各策略之課題、措施、措施重點與執行單位、措施屬性(個別系統、跨系統、跨單位)與期程等項目如表 4.6-1。

表 4.6-1 運輸系統氣候變遷調適策略與措施綜理表

策略	調適課題	措施	措施重點	措施屬性	期程	
一、提升氣候衝擊耐受度	提升運輸系統在氣候變遷下的衝擊耐受力	1-1	建立設施安全性與風險評估方法、風險基準並定期評估	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關（構） <ul style="list-style-type: none"> • 建立設施安全性標準與評估方法並持續精進 • 建立氣候變遷風險評估方法，訂定可承受之風險基準並持續精進 • 定期或於重大天氣事件衝擊後評估設施安全性與風險等級 	■個別系統	持續
		1-2	檢討並將氣候調適概念納入規劃、設計、施工及養護相關規範與作業程序	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關（構） <ul style="list-style-type: none"> • 檢討並提高設施抗氣候變遷環境標準 • 訂定氣候衝擊影響評估的標準與應用之參數 • 將風險分析及氣候變遷模擬結果納入規劃、設計、施工及養護相關規範、作業流程或手冊中考量 ■運輸研究所 <ul style="list-style-type: none"> • 製作指導手冊，以利做為可行性評估與綜合規劃階段審查的參考 	■個別系統	短期、中期
		1-3	迴避高風險潛勢地區並考量周邊環境關係，持續發生受損阻斷之系統點位規劃改線、廢線	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關（構） <ul style="list-style-type: none"> • 新建設施選址應考量氣候變遷情境並迴避高風險地區 • 與環境部會考量周邊環境關係，並視情況運用以自然為本方案 • 針對不適合回復原有功能的路段評估修養、改道、廢線等方案 	■個別系統	持續
		1-4	運用或研發有助提升衝擊耐受力的科技、材料、工程工法與設備	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關（構） <ul style="list-style-type: none"> • 依氣候變遷情境所致風險之分析與模擬結果，並視資源與需要運用科技、材料、工程工法與設備提升設施耐受力 • 推動示範或先導計畫運用科技、材料、工程工法與設備並監測其於提升衝擊耐受度的成效 • 彙整國內各研發單位技術並進行國外新技術的交流與移轉 	■個別系統	持續

表 4.6-1 運輸系統氣候變遷調適策略與措施綜理表（續）

策略	調適課題	措施		措施重點	措施屬性	期程
二、降低氣候衝擊脆弱度	確切掌握極端天氣事件的衝擊程度	2-1	檢討並調整氣候變遷環境下之風險監測	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關（構） <ul style="list-style-type: none"> • 檢討及調整監測設施的設置點位與密度 • 加強即時監測的涵蓋面 • 思考應用微型氣象站蒐集之小尺度資訊結合氣候局大尺度資料做數據之微調，以利更完善掌握設施周邊之氣候狀態 ■氣象局 <ul style="list-style-type: none"> • 加強相關氣象資訊之提供 	<ul style="list-style-type: none"> ■個別系統 ■跨單位 	短期、中期
	加強運輸系統間的聯防與資源共享與應變效率	2-2	加強跨運輸系統間的運輸連結性	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關（構）彼此間之連結性加以強化： <ul style="list-style-type: none"> • 國道及快速公路交流道及其聯絡道路 • 鐵路車站聯外道路 • 機場及港口聯外道路 • 重大儲油、儲氣、儲水、儲電設施聯外道路 	<ul style="list-style-type: none"> ■個別系統 	中期
	維持系統受天氣事件衝擊時正常營運	2-3	建立運輸系統設施的內部與外部備援方案	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關（構） <ul style="list-style-type: none"> • 研議運輸系統內部備援體系與運作機制與外部跨運輸備援體系與運作機制 • 與運輸業者規劃系統內部及外部跨系統的備援設施、替代路線、替代運具以及接駁運具等 • 強化道路阻斷資訊與替代路線的資訊傳遞 	<ul style="list-style-type: none"> ■個別系統 ■跨系統 ■跨單位 	短期
三、優化氣候衝擊反應力	強化運輸系統間的應變與支援速度	3-1	建構跨運輸系統預警應變網絡	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關（構） <ul style="list-style-type: none"> • 彙整國內外各研發單位技術 • 共享資訊，以加強應變與橫向聯防 • 利用免費社群網路做資訊傳遞 • 進行天氣事件衝擊機率研究 	<ul style="list-style-type: none"> ■個別系統 ■跨系統 ■跨單位 	短期
	確保設施回復能力	3-2	建立分階段復建原則	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關（構） <ul style="list-style-type: none"> • 依運輸系統設施地區回復程度建立分階段復建原則 • 掌握受損範圍回復狀態，透過資料之蒐集決定復建期程與工法 • 彙整國內各研發單位技術 ■交通部 <ul style="list-style-type: none"> • 研議簡易修復相關規範 	<ul style="list-style-type: none"> ■個別系統 	中期、長期

表 4.6-1 運輸系統氣候變遷調適策略與措施綜理表（續）

策略	調適課題	措施		措施重點	措施屬性	期程
四、 建構 氣候 衝擊 決策 力	決策調適計畫優先性並達到預期成果	4-1	建立調適計畫投資決策評估方法	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關（構）與運輸研究所 <ul style="list-style-type: none"> • 研議氣候變遷調適計畫成本效益評估方法並持續精進 ■設施管理機關（構） <ul style="list-style-type: none"> • 規範調適計畫於預算申請時檢附計畫成本效益評估作佐證 	■個別系統	短期
	評估調適計畫成效	4-2	建立調適計畫監控、評估、學習機制	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關（構） <ul style="list-style-type: none"> • 建立調適計畫管理、監測與學習機制 	■個別系統	短期
	支援風險評估及計畫投資決策所需資料	4-3	建置氣候風險管理與調適計畫研擬所需資料庫及工具	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關（構）建置風險管理資料庫，可以 TGOS 平台共享 <ul style="list-style-type: none"> • 設施全生命週期管理資料庫 • 風險評估指標資料庫 • 風險潛勢調查分析與情境模擬 • 計畫投資評估參數資料庫 ■設施管理機關（構）建置有助提升風險管理效率支援系統工具並持續優化 <ul style="list-style-type: none"> • 設施全生命週期管理系統 • 設施風險評估資訊系統 • 氣候變遷調適計畫投資決策支援系統 ■設施管理機關（構）開發有助研擬調適計畫的資料庫 <ul style="list-style-type: none"> • 調適方案/計畫、研究參考 • 氣候與歷史衝擊數據 	<ul style="list-style-type: none"> ■個別系統 ■跨單位 	持續
	強化跨域協調與跨單位合作	4-4	推動氣候調適跨域整合推動平台與機制，加強資訊共享	<ul style="list-style-type: none"> ■交通部 <ul style="list-style-type: none"> • 推動運輸系統氣候變遷調適整合推動平台與機制，鼓勵資料共享 	<ul style="list-style-type: none"> ■跨系統 ■跨單位 	中期
	培育調適專業人才	4-5	培育氣候變遷風險管理與調適專業人才	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關（構） <ul style="list-style-type: none"> • 辦理運輸系統氣候變遷調適議題國內與國際研討 • 建立氣候變遷調適人才培訓制度（可分階段培訓） • 視需要成立氣候變遷調適專責單位 	■個別系統	短期、中期
	強化跨域協調與跨單位合作	4-6	辨識利害關係人並與其溝通或合作調適計畫	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關（構） <ul style="list-style-type: none"> • 辨識利害關係人 • 建立雙向風險溝通與資訊教育之機制 • 建立利害關係人可合作調適計畫的不同機制 	■個別系統	短期、中期

註：短期為 1-2 年、中期為 3-5 年、長期為 5-10 年。

第五章 調適資訊平台移轉與維護管理

本所於民國 101 年 3 月 22 日召開「鐵公路交通建設防災預警領域研究重點討論會議」，確認辦理重大鐵公路系統氣候變遷風險評估指標及風險地圖，做為鐵公路設施管理機關(構)研提調適行動計畫之參據及本所建立「鐵公路氣候變遷調適資訊平台」之基礎。

本所自 102 年辦理調適系列計畫至今，已完成鐵公路風險評估指標、確立風險評估方法及產製風險地圖等工作，並建立「鐵公路氣候變遷調適資訊平台」供鐵公路設施管理機關(構)掌握設施氣候變遷風險資訊。考量本所已完成階段性任務，後續鐵公路之風險評估作業回歸由鐵公路設施管理機關(構)依《溫管法施行細則》第 11 條規定自行辦理，故辦理風險資訊移轉作業。

由於風險評估移轉主要係移轉風險評估方式與風險圖資，供各單位規劃與審議時，評估氣候變遷環境下長期與大尺度的風險，但因為各單位對於圖資內容、尺度與應用需求均有所不同，且部分單位亦自有風險控制與管理平台，難以透過單一方式符合所有單位需求，故針對不同單位之現況與需求，設計 3 種移轉方案供各單位選擇，並視各單位需求選取最適移轉方式取得風險圖資與評估方式。

本章於 5.1 節說明風險評估移轉規劃；5.2 節說明風險評估移轉溝通；5.3 節建議最適移轉方式。同時，為確保設施管理機關(構)完成移轉前能持續使用「鐵公路氣候變遷調適資訊平台」，維護管理平台，說明於 5.4 節。

5.1 風險評估移轉規劃

1. 移轉內容

調適資訊平台成果分為平台、資料庫、風險地圖 3 大部分，參見圖 5.1.1。

(1) 平台

前期已開發完成之平台提供調適系列計畫彙整之國內、外調適資訊與 GIS 圖台，可查詢鐵公路風險地圖與風險評估各項指標，適合鐵公路設施

管理機關（構）參照此架構，依據單位各自需求客製化，發展各自的調適資訊平台，導入細部風險評估所需資訊後，即可運用於細部風險評估使用。

(2) 資料庫

本所辦理調適系列計畫從 102 年至今，已蒐集 7 年的調適資訊，資料分為 8 大資料庫，包含：(1) 社經資料、(2) 交通資料、(3) 環境氣候、(4) 圖形資料、(5) 設施資料、(6) 調適分析、(7) 調適策略以及 (8) 工具知識。適合鐵公路設施管理機關(構)進行氣候調適評估之延伸運用。

(3) 風險地圖

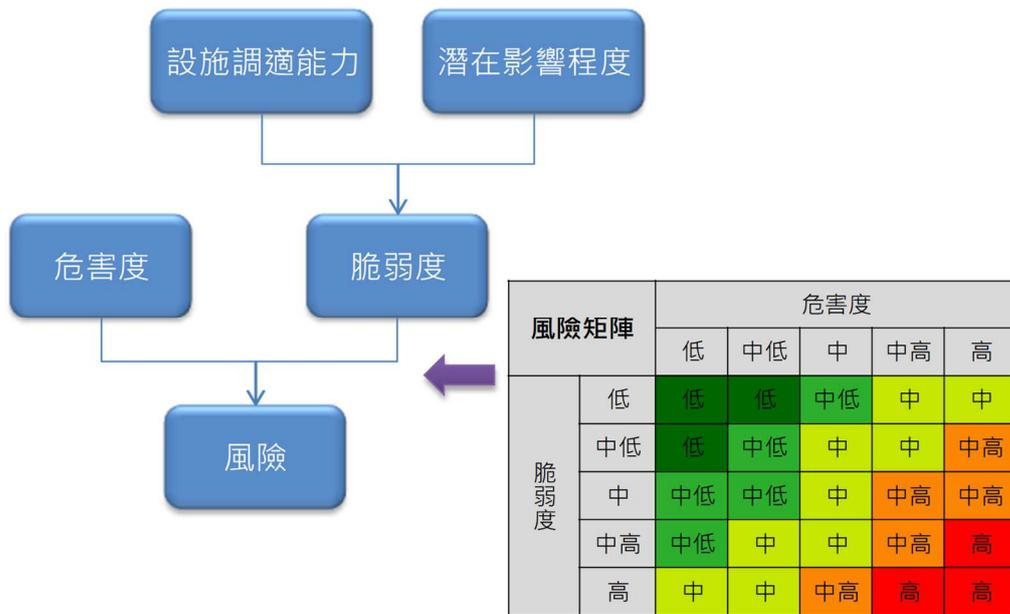
調適系列計畫之風險圖資係透過整合水利署之水災潛勢圖以及地調所之坡災潛勢圖，呈現資料為定量模擬結果。為反映各地區氣候特性差異，採用 24 小時延時雨量模擬結果，並套疊到鐵公路圖資中，可使規劃人員應用「危害度」圖資更直覺判斷路線區位；此外「風險地圖」圖資則是參照 IPCC AR5 架構產製，依設施別以 100~500 公尺的尺度分析。



資料來源：交通部運輸研究所，運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫，民國 108 年。

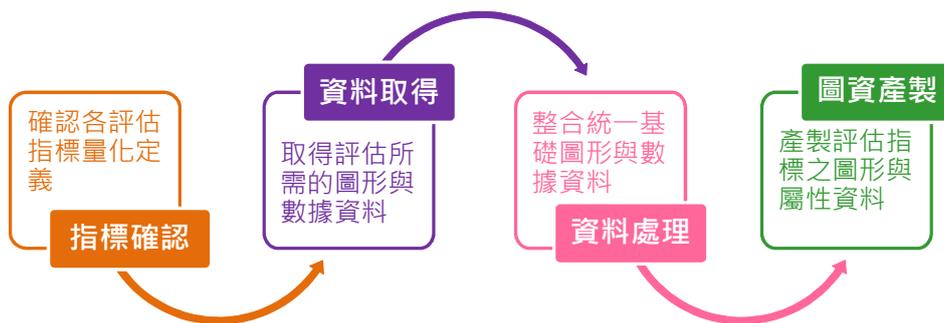
圖 5.1.1 鐵公路氣候變遷調適資訊平台成果

風險評估方法分為危害度與脆弱度 2 個面向（圖 5.1.2），評估指標乃透過空間量化與矩陣運算後產製評估指標圖資，風險地圖處理流程如圖 5.1.3 所示。該圖資適合鐵公路管理機關（構）後續根據實務需求結合細部資料，進行「危害度」、「脆弱度」調整，產製細部分析使用之小尺度「風險地圖」。



資料來源：交通部運輸研究所，運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫，民國 108 年。

圖 5.1.2 風險評估流程與風險矩陣



資料來源：交通部運輸研究所，運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫，民國 108 年。

圖 5.1.3 評估指標圖資料處理邏輯

2. 移轉單位與溝通

108 年計畫與鐵公路設施管理機關（構）如鐵道局、臺鐵局及高公局等進行溝通討論，意見綜整如下：

- (1) 平台較適合做為一個支援整體決策的分析工具。
- (2) 風險評估與相關資訊系統等可由各設施管理機關(構)自行依法辦理，另可透過資訊介接加強互通串接。
- (3) 尚無風險管理平台的機關（構）可使用此平台或再依據需要進行局部修改及調整。

(4) 平台宜針對各機關（構）需求進行規劃與設計，以提高機關（構）承接維管意願。

(5) 平台上的風險熱點更新不如機關（構）即時。

3. 移轉流程

與鐵公路設施管理機關（構）溝通後，針對平台之氣候變遷風險資訊納入各機關（構）既有系統或其他方式，提出最適移轉方式，辦理方式如下。

(1) 移轉流程

參考 108 年計畫之規劃，風險評估移轉作業整體時程採取循序漸進的做法，分 3 階段辦理。因應各單位實務需求與溝通進度，以不同單位適合之方式對應。前期已進行內容清查並與各鐵公路設施管理機關（構）初步討論，本計畫針對移轉方式進行建議，並針對設定之移轉方式與鐵公路設施管理機關（構）滾動溝通討論。

① 第一階段：溝通與討論

清查移轉內容，並與各鐵公路設施管理機關（構）討論移轉，以評估各單位移轉需求。

② 第二階段：預備與移轉

提供移轉方式建議，提供移轉所需圖資與文件，進一步針對移轉機關（構）提供移轉所需諮詢與協助。

③ 第三階段：協助與諮詢

提供移轉單位風險地圖更新之諮詢，並協助檢視風險評估成果。



資料來源：本計畫彙整。

圖 5.1.4 風險資訊移轉分階段辦理事項

4. 移轉方案規劃

由 108 年計畫與各鐵公路設施管理機關（構）溝通意見可知，因各單位需求不同，因此對於平台需求、圖資更新頻率、風險分析方式、風險分析評估精細度等需求均不同，故針對不同機關（構）單位與平台規劃 3 個不同的移轉方案（圖 5.1.5），各方案之內容及特色分述如下：



資料來源：本計畫繪製。

圖 5.1.5 風險資訊移轉方案

(1) 方案一：圖資移轉

以光碟提供原始圖資檔案如 Shp、CSV，搭配相關欄位與屬性說明，供鐵公路設施管理機關（構）套疊於既有圖資平台或 GIS 單機系統上（圖 5.1.6）。

本方案適用於無資訊平台且想快速檢視圖資者，或是已有圖資平台，想快速套疊圖資且無圖資客製或調整需求者。

移轉的圖資內容包含風險圖資與屬性相關說明，即使機關（構）內沒有風險管理平台或 GIS 平台，亦可透過 GIS 單機版快速讀取風險圖資；若機關（構）內有風險管理平台或圖資系統，可透過自行發布 WMS 或空

間資料庫處理運算等方式，於平台內快速鑲嵌或發布風險地圖，減少圖資產製重工。



資料來源：本計畫繪製。

圖 5.1.6 方案一圖資移轉範疇

此方案提供圖資移轉方式，圖資當中包含原始資料、評估分析後之成果圖資（指標地圖）、最後彙整之成果圖資（風險地圖），各資料處理流程如圖 5.1.7。



資料來源：本計畫繪製。

圖 5.1.7 風險圖資彙總方式

檢視圖資時，可使用付費或免費（如 QGIS）等單機版 GIS 軟體，使用前可套疊所需底圖，例如國土測繪中心發布之台灣通用版電子地圖（http://maps.nlsc.gov.tw/S_Maps/wm），供使用者比對鄰近圖資資訊，並快速定位。再將風險圖資的 Shp 讀入 GIS 單機版中，透過互動介面可檢視圖資位置與對應之風險圖資屬性，參見圖 5.1.8。



資料來源：本計畫繪製。

圖 5.1.9 方案二評估方法移轉範疇



資料來源：本計畫繪製。

圖 5.1.10 評估方法移轉文件與說明

(3) 方案三：全調適資訊平台移轉

將整個平台包括圖資與網站平台進行移轉，同時進行風險地圖圖資優化以及資料更新與指標調整，此外，針對各使用機關（構）之平台需求，提供修改建議與諮詢（圖 5.1.11）。

本方案適用於新設置風險與調適平台之單位。除提供風險圖資、屬性說明與風險移轉方式外，若使用者無自有的風險與調適資訊平台，可透過本方案提供的平台原始程式碼與資料庫檔案快速建立自有風險與調適資訊平台。



資料來源：本計畫繪製。

圖 5.1.11 方案三風險平台移轉範疇

平台導入須有對應之軟硬體設備，設備規格建議如表 5.1-1，惟系統規格需視系統服務人數、系統定位、功能客製幅度等而定。

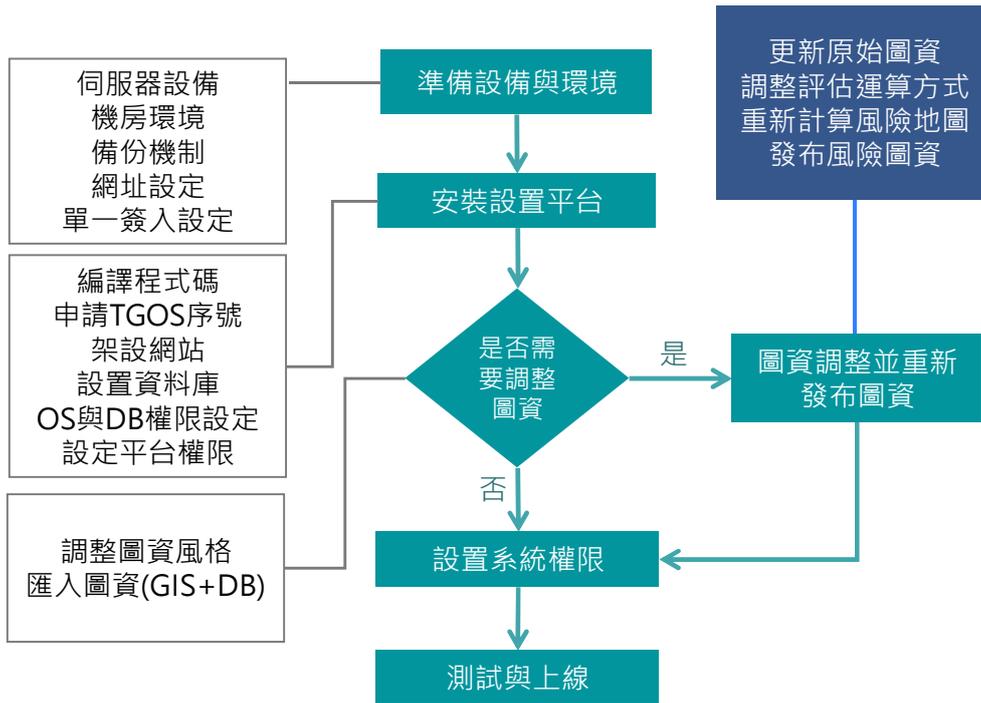
此外，資料更新頻率亦影響伺服器效能，更新頻率若是以月或年為單位，則較不影響系統效能，若更新頻率為日或即時，則可能額外需設置介接與資料處理中介伺服器，以降低風險與調適平台系統負載。

表 5.1-1 平台規格建議

項目	規格
伺服器規格	■機架式伺服器
	■CPU:E3 以上
	■記憶體:32G 以上
	■硬碟:1T*2 以上
	■作業系統:Windows Server
	■資料庫:MS SQL Server
GIS Server	SuperGIS Server
GIS 單機版	SuperGIS Desktop

資料來源：本計畫彙整。

平台導入流程如圖 5.1.12，需先準備相關軟硬體設備，若機關（構）有既有設備可沿用，需針對網路環境與備份等機制，進行環境調整與設置。安裝平台則須申請介接 API 許可，並設置平台、作業系統、資料庫對應之權限。待客製之功能與風險圖資更新無誤後，經系統測試與調整後上線提供服務。



資料來源：本計畫繪製。

圖 5.1.12 平台移轉架設流程圖

5.2 風險評估移轉溝通

本計畫透過說明會與拜訪機關(構)的方式與鐵公路設施管理機關(構)溝通風險評估資訊移轉事宜。溝通過程及成果綜理如下：

1. 溝通程序規劃

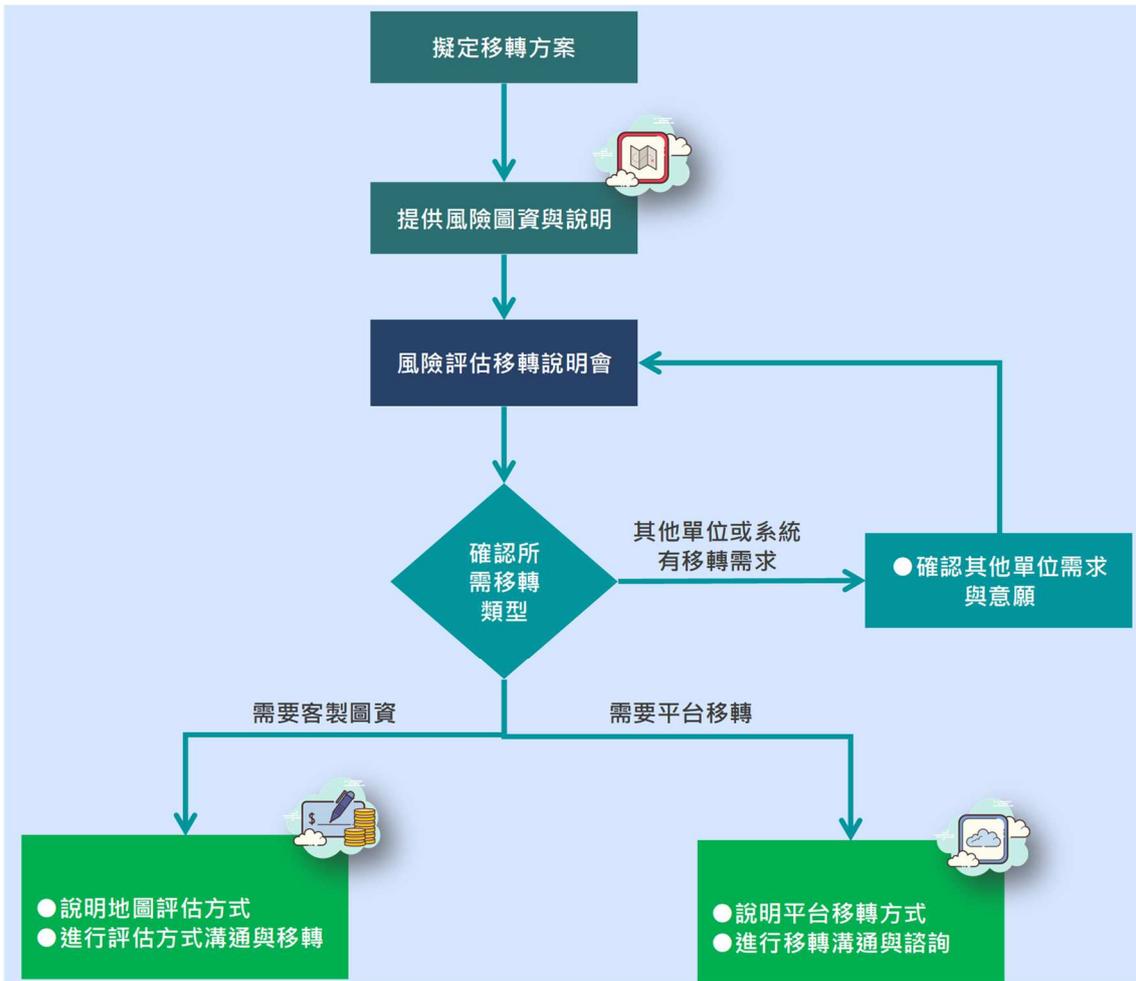
風險評估移轉方案分為圖資移轉、方法移轉、平台移轉等3種。先行提供各單位風險圖資與相關欄位屬性的說明與介紹，待各單位檢視風險圖資並有一定理解後，召開風險移轉說明會，針對移轉方案說明與溝通。針對需要客製圖資之單位，除說明風險地圖評估方式、流程、邏輯、使用圖資、評分方式等，再根據需求機關(構)進行評估方式移轉與溝通。需要移轉整個平台的單位，擬對其說明移轉方式，包括相關技術說明以及移轉所需的溝通與諮詢。移轉溝通作業規劃如圖 5.2.1。

風險評估移轉說明會結束後則持續與各機關(構)溝通與確認選取之方案與所需的移轉協助。

2. 溝通成果說明

由於風險圖資為各方案之基礎，因此風險評估移轉說明會前先行提供各單位風險圖資光碟，光碟內容如表 5.2-1 與 5.2-2，分為鐵道系統與公路系統，提供不同設施管理機關(構)參考使用，光碟內容包含原始圖資、風險圖資、圖資說明與風險評估方法。

原始圖資包含危害度、脆弱度、基礎圖資，分別以 shp、excel、kmz、pdf 等方式提供，而成果圖資則包含指標圖資與風險地圖，風險圖資中又包含危害度與脆弱度指標圖資，均以 shp 方式儲存，使用者可按照需求快速檢視圖資。



資料來源：本計畫繪製。

圖 5.2.1 風險資訊移轉溝通程序示意圖

表 5.2-1 鐵道系統成果圖資

圖資	類型	項目	子項	細項	檔案類型	
原始資料	危害度	坡災潛勢圖			shp	
		淹水潛勢圖				
	脆弱度	運輸設施調適能力	設施安全性	設施年期	邊坡分級	excel
				預警應變作為		
		潛在影響程度	交通量	未來/現況	shp/excel	
			產值	未來/現況		
	基礎底圖	里程			shp	
		原始路線線型	高鐵/高鐵車站/臺鐵/臺鐵車站			
		基礎底圖				
	成果圖資	指標地圖	危害度	鐵路路段與車站坡地災害圖		shp
鐵路路段與車站淹水潛勢圖						
脆弱度		社經影響程度	高鐵、臺鐵站間量指標圖			
			產值指標圖			
		運輸設施現有能力的	高鐵、臺鐵設施安全、替代道路、監測路段指標圖			
風險地圖	高鐵/臺鐵/高車站/臺鐵車站					

資料來源：本計畫彙整。

表 5.2-2 公路系統成果圖資

圖資	類型	項目	子項	細項	檔案類型	
原始資料	危害度	坡災潛勢圖			shp	
		淹水潛勢圖				
	脆弱度	運輸設施調適能力		設施安全性	設施年期	excel/kmz
				預警應變作為	邊坡分級	
		潛在影響程度			CMS 點位(高公局)	excel/xml
					重點監控路段	kmz/pdf
	基礎底圖	里程				shp
		原始路線線型	快速公路/省道/國道			
		基礎底圖				
	成果圖資	指標地圖	危害度	公路路段坡地災害圖		shp
公路路段淹水潛勢圖						
脆弱度			社經影響程度	快速公路、省道、國道交通量指標圖		
				產值指標圖		
		運輸設施現有能力的	快速公路、省道、國道設施安全、替代道路、監測路段指標圖			
風險地圖	快速公路/省道/國道					

資料來源：本計畫彙整。

本計畫於民國 109 年 6 月 4 日辦理風險資訊移轉說明會，與會單位包含：路政司、公路總局、高公局、鐵道局、臺鐵局以及台灣高鐵公司等，說明風險資訊移轉。

說明會另提供不同方案實務比較如圖 5.2.2，供機關(構)比較不同方案之適用性與對應投入。除已提供各單位之風險圖資光碟內含之風險圖資的方案一，適用於個人或在既有平台快速檢視外，方案二則視各單位針對圖資更新與評估方法有所需求者，方案三則適用於希望建立調適與風險管控平台之單位。

			
方案	方案一 圖資移轉	方案二 圖資及評估技術 移轉	方案三 全調適資訊平台 移轉
適用情境	可用電腦直接讀取 可快速鑲嵌在既有平台	可自行更新原始資料 可根自行調整計算方式	可直接移植並建立平台 可按自行擴充平台功能
建置費用	0—30萬 使用GIS單機版或鑲嵌 至既有平台	40—100萬 包含單機版、調整計算 與發佈	150—270萬 含完整伺服器,視功能 調整而定
維護費用	0—10萬 / 年 單機版維運與 平台維運	30—90萬 / 年 視圖資更新與 客製項目而定	30—120萬 / 年 視圖資更新與 客製項目而定

資料來源：本計畫繪製。

圖 5.2.2 風險資訊移轉方案比較

而建置與維護費用，分別包含軟硬體、環境設置、圖資更新、系統客製等費用，若機關（構）內已有相關軟硬體設備，例如 GIS Server、可用伺服器或虛擬機器等，則可大幅減少導入費用，另外系統與圖資維運亦須包含資料更新等人工費用，此外亦包含軟硬體設備之維護費用，若有其他計畫與平台可以共享支援，亦可減少投入成本與費用。

各機關（構）所提意見與回應彙整如表 5.2-3。

表 5.2-3 移轉說明會各機關（構）意見與回覆

單位	意見	回覆
主席	<ul style="list-style-type: none"> ■ 說明會的目的為提供移轉方案說明，各機關（構）可後續商議再確認方案 ■ 隨文發送圖資光碟，以利各機關（構）快速使用 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 新建或改建路段可使用鄰近路段當參考，或是規劃時納入委外服務工作項目 ■ 因機關（構）掌握圖資的資訊較本所快速且完整，由各機關（構）更新可提高圖資時效性與適用性。建議各機關（構）可參考本所建立的風險評估方式，視需求編列經費與進行圖資更新。 ■ 圖資更新頻率可參考表 5.2-4 ■ 潛勢圖係發文向各單位申請，建議可洽水利署、NCDR 取得相關的坡地災害潛勢圖資進行更新
路政司	<ul style="list-style-type: none"> ■ 本計畫成果可供部內各單位做為設施衝擊耐受力或系統回復力及應變能力的參考 	
公路總局	<ul style="list-style-type: none"> ■ 機關（構）需要較即時的資料做為決策依據，故優先使用局內平台上資料 	
高公局	<ul style="list-style-type: none"> ■ 風險圖資可否應用在新/改建計畫？ ■ 風險圖資更新頻率為何？運研所可否持續更新？ 	
鐵道局	<ul style="list-style-type: none"> ■ 風險圖資可供規劃參考，但因本局不負責營運，無相關資料須更新 	
臺鐵局	<ul style="list-style-type: none"> ■ 會將光碟內圖資，評估納入建置中之全生命週期管理系統 ■ 圖資更新衍生之人力與教育訓練，恐有執行上的困難 ■ 潛勢圖取得方式為何？ 	

資料來源：本計畫彙整。

表 5.2-4 評估指標資料庫之更新頻率建議

指標	項目	更新頻率	說明	
危害度	淹水潛勢	不定期	配合水利署水災潛勢圖更新	
	坡災潛勢	不定期	配合 NCDR、地調所圖資更新	
	設施型式	每年	依前一年度臺灣通用電子地圖資訊更新	
脆弱度	潛在影響程度	現況產值	每 5 年	配合工商普查更新
		未來產值	每 5 年	配合城際模型及業人口數據更新
	設施調適能力	現況交通量	每年	更新為前一年度數據
		未來交通量	每 5 年	配合城際模型數據更新
		設施安全性	每年	依當年度邊坡分級、設施新建與改建資訊更新
	預警應變作為	每年	依當年度設施監測及重點監控路段、風險資訊傳遞方式等資訊更新	
	替代道路數	每年	依前一年度臺灣通用電子地圖更新	

資料來源：本計畫彙整。

另於民國 109 年 6 月 16 日前往高鐵公司細部說明各方案，高鐵公司提供意見與回覆綜理如表 5.2-5。

表 5.2-5 移轉說明會高鐵公司意見與回覆

意見	回覆
協助確認原始圖資內容與說明	已協助確認過之資料與相關說明
研究資料來源說明(如水利署、氣象局)，未來如何更新資料	提供資料處理與說明文件，若需要可進一步說明與討論
所列維護費用如何估算	維運費用細部估算如表 5.2-7，惟各機關(構)若已有相關軟體如 GIS Server 或軟硬體設備，建置與維護費用將可降低

資料來源：本計畫彙整。

表 5.2-6 維運費用細部估算

項目	細目	說明	方案一	方案二	方案三
			圖資移轉	圖資及評估技術移轉	全調適資訊平台移轉
費用彙整	建置費用		0-30 萬	40-100 萬	150-270 萬
	維護費用		使用 GIS 單機版或鑲嵌至既有平台	包含單機版、調整計算與發佈	含完整伺服器，視功能調整而定
維護細目			0-10 萬/年	30-90 萬/年	30-120 萬/年
			單機版維運與平台維運	視圖資更新與客製項目而定	視圖資更新與客制項目而定
	圖資更新	視更新項目與內容而定	-	10-30 萬	10-30 萬
	單機版軟體	視使用軟體是否付費而定	0-3 萬	0-3 萬	0-3 萬
	GISServer 軟體	視使用軟體是否付費而定	-	0-25 萬	0-25 萬
	網頁平台維運(風險圖資套疊)	視圖資風格調整/套疊/發布更新而定	0-5 萬	5-10 萬	5-10 萬
網頁平台維運(其他功能)	視網頁平台功能更新而定	0-5 萬	10-20 萬	10-20 萬	
軟硬體維護	視設備與資安規範而定	-	-	5-30 萬	

資料來源：本計畫彙整。

5.3 風險評估移轉最適方案

由於各機關(構)需求不同，針對風險評估移轉方案，需考慮機關(構)需求與既有圖資與軟硬體設備等，機關(構)評估風險移轉方案可分為業務需求、圖資內容、平台定位、計算方式、軟硬設備 5 大面向如表 5.3-1。

針對圖資內容，由於本計畫圖資係參考 IPCC 公布之 AR5 進行調整與處理。更新的氣候變遷情境預計於 2022 年的 AR6 發布，惟發布後為因應臺灣本土尺度與需求，須先待 NCDR 進行尺度調降，將分析情境展開至臺灣區域與尺度後，再由經濟部水利署與中央地質調查所更新淹水與坡災危害度圖資與資料，由於資料處理亦須一些時間，因此於更新資料發布前可沿用本計畫移轉之風險圖資，未來若有需要再參照 AR6 相關規定進行更新調整。

表 5.3-1 各單位方案選擇評估方向

面向	內容
業務需求	<ul style="list-style-type: none"> ■ 是否有相關業務需求
圖資內容	<ul style="list-style-type: none"> ■ 更新頻率與成本 ■ 圖資精細度是否足夠 ■ 是否需要納入機關(構)自有圖資
平台定位	<ul style="list-style-type: none"> ■ 機關(構)是否有相關或類似平台 ■ 那些平台可以納入或進行整合 ■ 平台移轉後的定位 ■ 平台移轉後續的管理與維運
計算方式	<ul style="list-style-type: none"> ■ 計算方式是否跟機關(構)內部既有評估方式一致
軟硬設備	<ul style="list-style-type: none"> ■ 機關(構)內部是否已有 GIS 伺服器 ■ 是否有相關軟硬體設備

資料來源：本計畫彙整。

經民國 109 年 6 月 4 日之風險資訊移轉說明會後，各機關回覆方案選擇結果如表 5.3-2 與圖 5.3.1 所示。本計畫針對選擇方案一的機關已向其確認風險地圖的開啟與使用上皆無問題。針對高鐵公司所選取之方案二的風險評估方法移轉已於民國 109 年 11 月 6 日前往高鐵公司進行教學，教學內容說明風險評估使用的指標、評估方法與圖資處理及計算等。

由於各單位針對圖資的尺度需求與更新方式意有所異，此外通用式的平台網站導入，亦須客製後方能符合機關(構)特性與使用，且各單位目前多有自有風險控制與管理平台，因此各單位選擇之方案以方案一與方案二為主，

這兩種方案的優點是可將風險圖資或風險評估方式快速導入既有平台，供使用者在既有平台與流程下，快速檢視風險相關圖資與數據。

表 5.3-2 各機關（構）選擇之風險資訊移轉方案與意見

機關（構）	選擇方案	意見
高公局	方案一	已有更精細的救災風險資訊系統 ¹ ，光碟的風險資訊將做為參考之用
公路總局	方案一	已有更即時的風險資訊系統，光碟的風險資訊將做為參考之用
臺鐵局	方案一	已提供給維運邊坡系統之廠商參考
鐵道局	方案一	無鐵道營運管理業務，故光碟已存檔並做為後續規劃業務參考
高鐵公司	方案二	希望能針對風險計算方式進行說明，以利技術移轉

資料來源：本計畫訪談與彙整。



圖 5.3.1 各機關（構）選擇之風險圖資移轉方案

¹ 高公局自 99 年開始就有陸續建置管理系統，102 年建立邊坡資訊管理系統，並陸續發展鋪面、隧道等管理系統。目前在建置防救災管理系統，可將上述的設施管理系統納入氣候變遷風險資訊，也結合氣象局的資料辨別易淹水路段，是相對完整的系統。

5.4 平台維護管理

基於維持鐵公路氣候變遷調適資訊平台正常運作之需要，資訊人員需定期及不定期維護管理平台，包含確保系統介接之有效性、維護資安、維持效能以及檢測系統壓力等。相關作業成果說明如下：

5.4.1 介面維護

1. 介接 API 更新

因應 NCDR 平台改版，原最新消息網頁失效，最新消息位置由網頁改為 RSS API 格式，惟該 API 對最新消息內容無區分類型，故改整合國家災害防救科技中心的民生示警公開資料平台資訊，該平台透過統一格式與平台，整合不同機關（構）發佈之訊息，因應內容關連性，從民生示警公開資料平台篩選颱風、淹水、土石流、雷雨等項目進行串接收納至平台上的最新消息。

民生示警 公開資料平台

字級 中 網站導覽 線上客服 意見信箱

查詢示警 資料下載 開發專區 示警應用 認證平台 會員專區

示警簡介

全部 中央部會 地方政府 事業單位

企業組群

颱風 地震 海嘯

淹水 土石流 降雨

河川高水位 水庫放流 鐵路封閉

鐵路事故 停班停課 鐵路事故

防空 雷雨 傳染病

TPE 開放路邊停車 水門資訊 低溫

土石流

發布時機

- 依據行政院農業委員會研訂之各地區土石流警戒基準值，配合交通部中央氣象局提供的氣象預報及雨量資料，研判土石流災害發生之可能性，並發布土石流警戒區預報（紅色或黃色警戒）；地方政府依據當地實際狀況，必要時得發布疏散避難警報撤離危險區居民，以達到災害傷亡趨近於零之目標。

定義

- 1. 黃色警戒 - 當中央氣象局發布某地區之預測雨量大於土石流警戒基準值時，由行政院農業委員會發布該地區為土石流黃色警戒。
- 2. 紅色警戒 - 當某地區實際降雨已達土石流警戒基準值時，由行政院農業委員會發布該地區為土石流紅色警戒。

建議作為

當行政院農業委員會發布土石流警戒時，建議民眾遵從下列建議事項：

- 黃色警戒：請隨時觀察環境變化，留意最新訊息，做好疏散避難準備並保持聯絡管道暢通。
- 紅色警戒：請配合鄉（鎮、市、區）公所及當地警消單位指示，儘早撤離或前往避難處所避難。

資料來源：民生示警公開資料平台。

圖 5.4.1 民生示警公開資料平台介接說明

平台操作手冊 | 網站地圖 | 聯絡我們

鐵公路 氣候變遷調適 資訊平台

歡迎[HRIOTTHIAdm] 登出

海岸城市的調適策略

本篇回顧CDC海岸城市的淹水調適準則與可借鏡的空間規劃與水資源管理方面的行動作為。此外，在交通方面，進一步挑選紐約市、香港與東京都等海岸城市回顧其在氣候變遷上所採取的交通設施與大眾運輸調適策略。

GIS查詢

氣候事件紀錄

颱風 淹水 土石流 雷雨

- 109/09/25 雷雨
- 109/09/20 雷雨
- 109/09/20 雷雨
- 109/09/19 雷雨
- 109/09/19 雷雨
- 109/09/19 雷雨
- 109/09/18 雷雨

(more)

即時事件

臺鐵 高鐵 公路總局

- 109/09/30 鐵路事故
- 109/09/30 鐵路事故
- 109/09/30 鐵路事故
- 109/09/24 鐵路事故
- 109/09/24 鐵路事故

(more)

中華民國 交通部運輸研究所 版權所有 地址: 10548 台北市敦化北路240號

圖 5.4.2 平台介接民生示警公開資料介面展示

2. 介接連結維護

氣候變遷調適作業需設施管理單位、氣象、水利以及相關研究單位等多元資料，故平台建構時即整合了多方資訊，包含 NCDR、災害示警公開資料平台、TGOS 圖台以及國內外相關網站等，而在平台管理維護上，如介接站台變更網址將導致連結失效，因此須考量相關因應對策。

本計畫將各介接連結（如表 5.4-1）納入 uptimerobot（如圖 5.4.3），以確保連線中斷時可自動偵測，以利平台管理者即時因應調整。另進行網址手動清查，網址清查時間為 109 年 12 月 21 日。

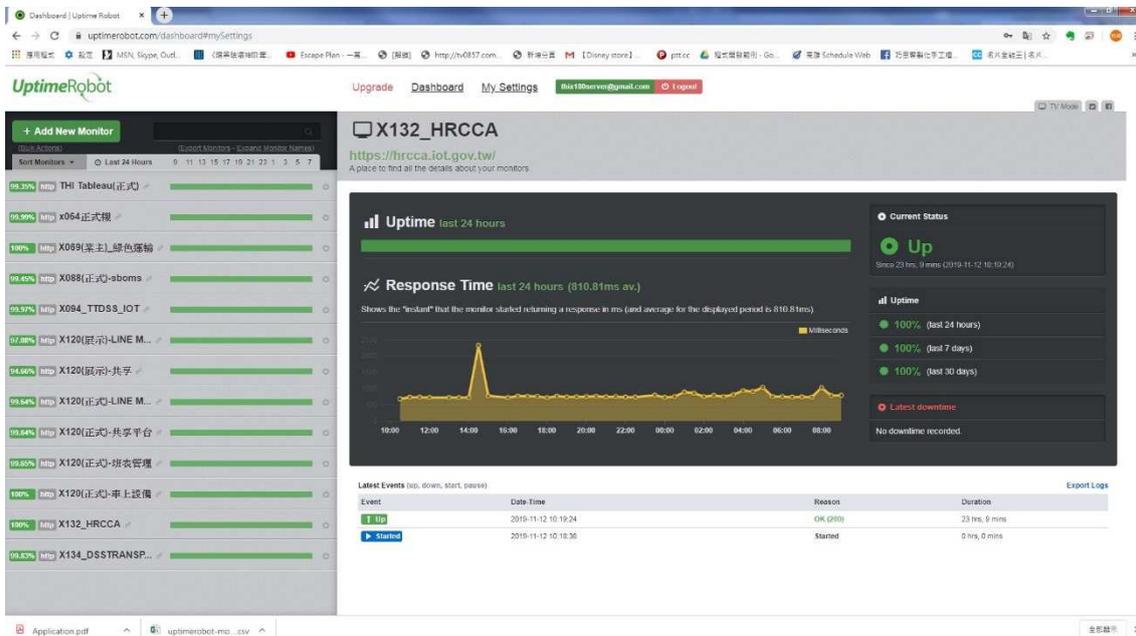
表 5.4-1 相關連結清單

網站類別	網站名稱	網址
國內網站	臺灣氣候變遷調適科技知識平台 (TaiCCAT)	https://taiccat.wixsite.com/knowledgeplatform/abouttaiccat
國內網站	行政法人國家災害防救科技中心 (NCDR)	http://ncdr.nat.gov.tw/
國內網站	臺灣氣候變遷推估與資訊平台 (TCCIP)	http://tccip.ncdr.nat.gov.tw/v2/index.aspx
國內網站	中央研究院環境變遷研究中心	http://www.rcec.sinica.edu.tw/index.php
國內網站	氣候變遷研究聯盟 (CCLICS)	http://cclics.rcec.sinica.edu.tw/index.php
國內網站	環境資訊中心	http://e-info.org.tw/
國內網站	防災教育資訊網減災及氣候變遷調適教育資訊網	http://disaster.moe.edu.tw
國內網站	NCDR 災害潛勢地圖網站	https://dmap.ncdr.nat.gov.tw/
國內網站	行政院農委會水土保持局土石流防災資訊網	http://246.swcb.gov.tw/index.aspx
國內網站	災害管理資訊研發應用平台 (DMIP)	http://dmip.tw/
國內網站	災害示警公開資訊平台	https://alerts.ncdr.nat.gov.tw/
國內網站	國立臺灣大學全球變遷研究中心	http://www.gcc.ntu.edu.tw/main.php
國內網站	教育部氣候變遷教學平台	https://climatechange.tw/
國內網站	災害防救白皮書	https://cdprc.ey.gov.tw/Page/26D63F7B75BA273
國外網站	聯合國氣候變化綱要公約調適網站	http://unfccc.int/2860.php
國外網站	政府間氣候變遷專家小組網站	http://www.ipcc.ch/
國外網站	歐盟氣候變遷調適平台網站	http://climate-adapt.eea.europa.eu/
國外網站	聯合國環境規劃署氣候變遷網站	https://www.unenvironment.org/explore-topics/climate-change
國外網站	美國加州調適 cal-adapt 平台	http://cal-adapt.org/
國外網站	英國氣候變遷委員會網站	http://www.theccc.org.uk/
國外網站	氣候調適知識交流網	http://www.cakex.org/
國外網站	澳洲氣候變遷暨能源效率部網站	http://www.environment.gov.au/climate-change
國外網站	瑞典氣候變遷調適網站	http://www.smhi.se/
國外網站	荷蘭空間適應計畫	http://www.ruimtelijkeadaptatie.nl/en/
國外網站	德國氣候變遷調適網站	http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgenanpassung/

表 5.4-1 相關連結清單 (續)

網站類別	網站名稱	網址
國外網站	法國氣候變遷調適網站	http://www.developpement-durable.gouv.fr/
國外網站	芬蘭氣候變遷調適網站	http://ilmasto-opas.fi/fi/
國外網站	丹麥氣候變遷調適網站	http://www.klimatilpasning.dk/
國外網站	美國環保署氣候變遷專頁	https://www.epa.gov/climate-research
國外網站	三角洲聯盟	http://www.delta-alliance.org/toolboxoverview/CAA
國外網站	波士頓調適計畫	https://www.boston.gov/departments/environment/climate-ready-boston
國外網站	連結三角洲城市	http://www.deltacities.com/

資料來源：本計畫彙整。



資料來源：本計畫彙整。

圖 5.4.3 uptime robot 連結監控畫面

5.4.2 資安防護

1. 強化資安防護機制

因應近期資安的需求以及資安法實施之後對於平台與資料資安的重視，平台強化資安管理與檢核機制與功能如下所述。



資料來源：本計畫繪製。

圖 5.4.4 資安防護作業

(1) 異常監控

系統除驗證碼功能外，並設定如登入失敗次數過多則鎖定，15 分鐘內不可登入。另外，強化系統 Log 紀錄，除原先介面等級紀錄外，詳細紀錄使用者操作或輸入之搜尋條件或登入資料，以利後續檢核使用。並每日定時發送資料監控郵件，監控包括登入異常次數過多帳號、近期異動帳號、閒置帳號、每月操作數量等，可針對異常資料進行判讀與預警。

```

=====1[異常]-TTDSS=====

1[異常]-1.最近2天登入錯誤超過5次帳號或IP(transaction_log)


| TYPE   | DATA | ERR_COUNT |
|--------|------|-----------|
| 根據帳號統計 |      | 6         |



1[異常]-2.最近30天帳號異動(USER_MASTER)


| 最後更新時間                | USERID | USERNAME | DEPARTMENT | ROLEID | CREAT      |
|-----------------------|--------|----------|------------|--------|------------|
| 2020/8/12 下午 02:37:27 |        |          |            |        | 2020/8/12  |
| 2020/8/11 下午 02:39:28 |        |          |            |        | 2016/11/28 |
| 2020/8/5 上午 10:35:51  |        |          |            |        | 2020/8/5 上 |



1[異常]-3.最近180天沒有登入紀錄的帳號(transaction_log)


| ENTERPRISEID | USERID | USERNAME | DEPARTMENT | EMAIL | EMAIL_2 | EMAIL_3 | TELEPHONE | TELE |
|--------------|--------|----------|------------|-------|---------|---------|-----------|------|
|              |        |          |            |       |         |         |           |      |



=====1[異常]-HRCCA=====

1[異常]-1.最近2天登入錯誤超過5次帳號或IP(transaction_log)


| TYPE | DATA | ERR_COUNT |
|------|------|-----------|
|      |      |           |



1[異常]-2.最近30天帳號異動(USER_MASTER)


| 最後更新時間 | USERID | USERNAME | DEPARTMENT | ROLEID | CREATED_DATE | CREATED_BY | LAST |
|--------|--------|----------|------------|--------|--------------|------------|------|
|        |        |          |            |        |              |            |      |


```

圖 5.4.5 資料庫監控

(2) 環境防護

以防毒軟體每週定時掃描並定時更新軟體，避免軟體與作業系統的漏洞造成損害，另每月定時檢核，檢視異常資訊，提前進行防範與偵測，定期稽核表格式如表 5.4-2 所示。

(3) 備援備份

系統資料庫每日定時完整備份於本機端(相同機器，但不同之實體磁碟)，另每月將資料庫備份至異地，確保資料無虞。而程式碼則透過 SVN 版本控制，確保程式碼為最新，且可按照需求回溯版本與識別版本別。

表 5.4-2 定期稽核表

專案代碼	機房位置			
系統名稱				
機房日期	檢核日期			
檢核人員	(姓名)		(簽名)	
複核人員	(姓名)		(簽名)	
項目	事項	地點	結果	說明
交易紀錄 檢查	OS 事件檢視器-應用程式	機房	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 異常	
	OS 事件檢視器-安全性		<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 異常	
	OS 事件檢視器-設定		<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 異常	
	OS 事件檢視器-系統		<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 異常	
	DB LOG 檢視		<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 異常	
	登入失敗檢核	遠端	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 異常	
	帳號新增與異動是否異常	(DBMAIL)	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 異常	
	檢視每月交易筆數是否異常	遠端 (WEB)	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 異常	
系統功能 檢核	登入與基本查詢	遠端 (WEB)	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 異常	
環境更新	Windows update	機房	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 異常	
	防毒軟體更新	機房	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 異常	
	防毒軟體掃描檢核	機房	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 異常	
備份檢核	DB 備份檢核	機房	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 異常	
	LOG 備份檢核	機房	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 異常	
	外部備份(DB+檔案+LOG)	機房	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 異常	

資料來源：本計畫彙整。

2. 資安檢測

本計畫採用 paros 做為弱點掃描的工具，此軟體係用於掃描網頁程式漏洞的自動化工具，以代理伺服器的形式，介於瀏覽器與待測網站之間，攔截雙方 HTTP 通訊協定，並從中注入相關的測試封包，以完成網站的安全檢查並提供解決方案，供程式人員針對掃描出的報告去修正網站的資安漏洞。

本系統經由 paros 檢測出來的結果高風險及低風險均為 0，但存在 1 個中風險，此中風險發生的原因是系統在頁面上並未設定禁止瀏覽器暫存頁面內容，但不會實際危害到資訊安全，依弱點掃描建議將系統設定為禁止瀏覽器暫存頁面內容即不會出現此風險。

Paros Scanning Report

Report generated at Wed, 14 Oct 2020 11:09:46.

Summary of Alerts

Risk Level	Number of Alerts
High	0
Medium	1
Low	0
Informational	0

資料來源：本計畫彙整。

圖 5.4.6 資安檢測畫面

表 5.4-3 paros 檢測結果

風險等級	風險數目	風險描述
高	0	—
中	1	Secure page can be cached in browser. Cache control is not set in HTTP header nor HTML header. Sensitive content can be recovered from browser storage.
低	0	—

資料來源：本計畫彙整。

3. 效能檢測

本計畫採用 google 提供的開發者工具（Developer Tool）做效能檢測，此軟體是一套網頁數據分析工具，詳細的紀錄網頁上每個元件從載入到回應的時間、檔案類型以及連線狀態，程式撰寫人員也可依據此分析來調節優化

網頁。

測試結果如表 5.4-4 所示，資料量較少的查詢頁面如調適知識庫、風險評估專區，回應秒數多在 1.2 秒內完成，僅本計畫更新評估方法時，為呈現較佳畫面，放上解析度較佳圖檔，故回應秒數超過 1 秒，其餘皆在 2.26 秒內完成。相較過往計畫的檢測結果，回應秒數最久為 GIS 查詢，因其包含外網圖台介接載入，且載入元件量較多，因此需較長秒數，但整體秒數檢測結果對平台效能並無明顯影響。

表 5.4-4 系統效率檢測清單

模組名稱	頁面名稱	回應秒數
首頁	首頁	2.16
調適知識庫	政策資訊	1.01
	地方資訊	1.11
	交通調適資訊	1.13
風險評估專區	緣起	0.49
	評估方法	2.26
	風險管理機制	0.33
	報告書下載	0.71
	成果查詢	0.18
	風險計算機	0.12
GIS 查詢	GIS 查詢	1.23
規範與工具	規範	0.63
	工具	0.59
相關連結	相關連結	1.12

資料來源：本計畫彙整。

4. 壓力檢測

採用 JMeter 做為伺服器端效能與壓力測試的工具。依預期使用系統最高人數訂出測試目標後，以錄製腳本的方式來模擬出一段時間內 N 個使用者操作該系統，藉此測出在負載較重的情況下，系統是否能正常運行且不出錯誤，免於正式上線後使用人數超出伺服器端所能負荷進而癱瘓整個系統。

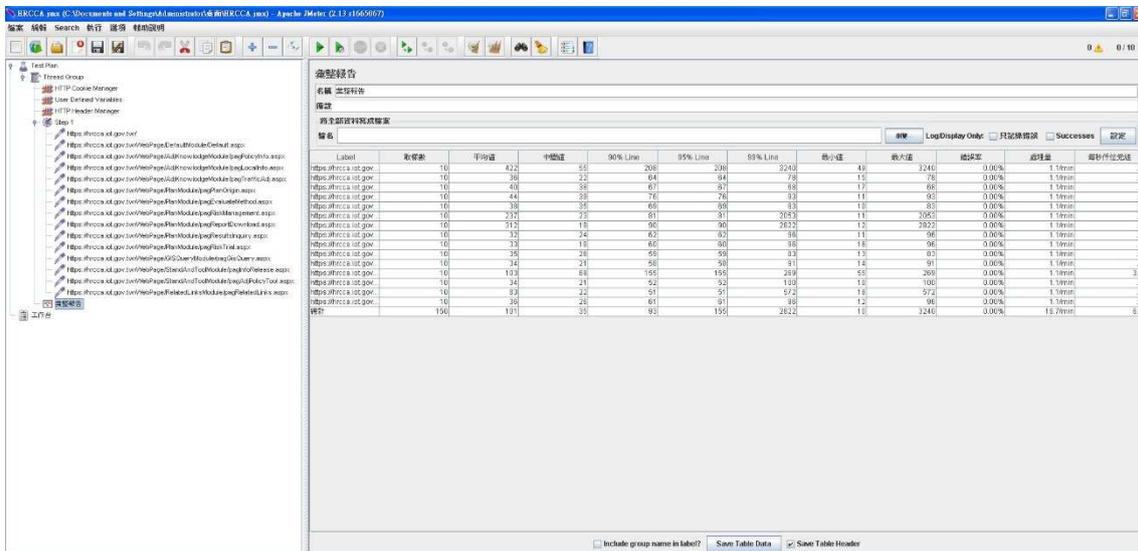
因每個網站的需求不同，故模擬的測試情境與標準也不相同。由於調適網站為限制登入網站，因此預計最多同時使用人數不超過 50 人，壓力測試模擬情境是以逐步增壓方式，分別以 10 分鐘內上線 10 人、10 分鐘內上線 50 人、10 分鐘內上線 100 人，並模擬使用者個別操作各功能模組及操作整

個平台，由測試出來的結果可以看到在 10 分鐘內上線 10 人、50 人與 100 人，系統的回應時間並無太大差異，代表系統在 10 分鐘內乘載 100 人並無超過負荷，皆在穩定範圍，如表 5.4-5 與圖 5.4.7 所示。

表 5.4-5 JMeter 平台整體壓力測試結果

測試功能	測試人數	測試時間 (分)	平均響應 時間(秒)	最小響應 時間(秒)	最大響應 時間(秒)	錯誤率(%)
平台整體	10	10	0.085	0.013	2.486	0.00%
	50	10	0.114	0.011	3.790	0.00%
	100	10	0.081	0.009	3.287	0.00%

資料來源：本計畫彙整。



資料來源：本計畫彙整。

圖 5.4.7 系統壓力檢測畫面

第六章 結論與建議

本所因應民國 104 年 7 月公布施行之《溫室氣體減量及管理法》第 13 條第 1 項：「中央目的事業主管機關應研議氣候變遷調適策略，並將調適成果每年定期提送中央主管機關」之規定，為提供交通部之鐵、公、海、空運輸設施管理機關（構）於研提調適行動計畫時能有所參據，並深化各設施管理機關（構）對氣候變遷調適之認識，爰辦理本計畫。

本計畫蒐集國際氣候變遷調適新趨勢及先進國家應用新科技於鐵公路系統調適之案例，並檢視《國家氣候變遷行動方案（107-111）年》中運輸系統行動計畫之內容、透過訪談方式蒐集運輸設施管理機關（構）對調適策略之建議、未來調適之方向與新科技可提供的調適輔助，據以滾動檢討運輸系統調適策略，最後提出「提升氣候衝擊耐受度、降低氣候衝擊脆弱度、優化氣候衝擊反應力、建構氣候衝擊決策力」四大運輸系統調適策略及 15 項調適措施。此外，為支援鐵公路設施管理機關（構）辦理設施氣候變遷風險評估作業，本計畫亦辦理鐵公路氣候變遷風險評估資訊移轉應用作業。

以下綜理本計畫之研究結論，並提出運輸系統氣候變遷調適工作推動及後續研究方向供參考。

6.1 結論

1. 國際調適新趨勢

(1) 國內部會的中長期預算應編列調適行動預算

國內部會支出預算的編列需和氣候變遷調適行動結合，也可透過國際或國內的氣候融資（Climate Financing）累積足夠資金，以推動政府調適計畫的優先事項與滿足調適工作需求；此外，也可與民間單位建立連結，且積極邀請私部門參與調適工作，如研發輔助調適作業的新科技、適應氣候變遷環境的設備等，以產生更好的調適工作成果。

(2) 建立調適工作的監測及評估機制

為確保調適策略的執行成效，可在運輸系統的規劃、設計、施工、維護管理等生命週期中建立調適工作的監測及評估機制，並回饋調整調適方法與方案，使調適成果符合或超過原先制訂的調適目標。

(3) 加強利害關係人參與

私部門與公部門需攜手展開有意義且具有包容性的接觸與溝通，對象包含各種利害關係人以及婦女、青年、原住民以及貧困和弱勢群體等，以確保調適工作和韌性建設能以人為本，也需考慮在教育、培訓、公眾意識方面進行重點投資。

(4) 將調適思維與措施導入至組織與跨領域的合作

國際標準化組織（International Organization for Standardization, ISO）發布了全球第一項針對氣候變遷調適的標準：ISO14090 氣候變遷調適—原則、規定與指導。該標準說明組織進行調適需注意之事項與工作，以利運輸系統與其他領域組織可參考此指導研擬調適計畫，並說明如何將調適思維與措施導入至組織與跨領域的合作。此標準可協助組織辨識與瞭解氣候變遷的影響與不確定性並用於支援決策，除了管理風險外，也可從中利用氣候變遷所帶來的機會。

(5) 將調適作為導入規劃、設計及投資決策程序

聯合國歐洲經濟委員會於 2020 年發佈《運輸網絡及節點的氣候變遷衝擊與調適》，檢討過去各成員國於運輸系統氣候變遷衝擊分析及風險評估之作業缺口，並提出未來調適作業執行之建議方向，尤其強調應從基本面加強建立氣候資訊、蒐集分析運輸相關數據以及建立實用的評估方法及工具，以利將調適作為導入規劃、設計及投資決策程序之中。

2. 鐵公路氣候變遷調適新趨勢

(1) 建立韌性鐵公路

在鐵公路的氣候變遷調適趨勢上，除了觀察到韌性的概念持續加深之外，另一個重要的概念為「改變思維」，將韌性的概念在規劃設計階段具體納入，給予足夠的資源與重視，避免爾後營運階段受到天氣事件傷害後的復建成本一直輪迴增加。

(2) 以自然為本的調適作為

自然為本解決方案為使用自然材料或流程來減緩極端氣候事件衝擊，為一種替代傳統保護設施的技法。由於逐漸意識到工程作為的有限性，國際間另一個重要的調適趨勢則是強調以自然為本的新建、改建計畫與調適作為（Nature-Based Solutions）。

(3) 以成本效益評估輔助決策

因資源有限，在推動調適計畫上需考量其優先性，故透過經濟效益的評估方法，納入氣候變遷的情境，以估算在不同氣候情境下的天氣事件強度對設施可能的衝擊，計算成本與執行調適策略的效益以支援決策。

3. 海空運系統調適計畫流程

(1) 海運系統

參考世界水上運輸基礎設施協會（World Association for Waterborne Transport Infrastructure, PIANC）於 2020 年發布《氣候變遷下港口與內陸航道的調適規劃》（Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways）^[19]，海運調適策略研擬流程分為 4 階段。階段 1 除完成氣候變遷調適目標及規劃範圍，亦需完成關鍵資產清單，同時，利害關係人的合作也相當重要，將能避免利益及推動工作上的衝突。階段 2 除了解氣候資訊之需外，基礎氣候資訊之掌握為重點，其中數據資料需蒐集既有環境條件和極端氣候的歷史事件，接著，透過情境分析掌握及了解未來氣候變遷及影響的程度。階段 3 的重點為如何識別及量化氣候的危害，了解敏感程度後，除進行氣候變遷風險分析及分級外，更需探討氣候危害發生的可能性、後果和接受程度。階段 4 旨在形成合適的調適策略並實施，同時掌握實施成效，除避免效率不彰也為未來決策提供依據，最後，調適策略的成功亦需民眾參與，有效的溝通能增加調適措施的成效。

(2) 空運系統

空運的調適流程以美國國家科學院（United States National Academy Sciences, NAS）所研擬之機場參考手冊為例，機場人員得以氣候風險、成本效益、脆弱度等分析結果進行決策。手冊提出以 2 步驟方法分析機場在氣候變遷環境下的營運風險，以 ACROS 軟體檢視氣候壓力源，並輔以成本效益分析（BCA）及財務可行性分析（FFA）確定措施的效益與影響程

度；步驟 2 則進一步以蒙地卡羅及風險值 (VaR) 分析方法確定風險影響的可能性及調適措施的效益。

4. 國內外鐵公路應用新科技提升調適能力案例彙析

(1) 國內案例

- ① 鐵路目前應用之科技多為加強管理與監測的技術，如高鐵應用 360 度的地面光達雷射掃描儀記錄邊坡狀態，觀察每個沿線邊坡的傾斜狀況，另外也以雨量資料建立模式預測邊坡安全性；臺鐵則建置邊坡全生命週期管理系統，整合監測與巡檢資料並通報異常。
- ② 公路在調適上應用監控設備、無人機巡檢等設備提高用路人之安全。公路總局應用遙測技術、導入科技巡檢、定量分級管理以強化邊坡；高公局則結合無人機與 AI 辨識河道變化與環境變化評估，做為改善與規劃設計依據。

(2) 國外案例

- ① 在規劃階段，國外將氣候變遷情境納入 GIS 中做模擬。例如，美國國家海洋和大氣管理局與美國環境系統研究所公司合作，利用地形分析和水利模型，建立各河川流量預測，精進洪水與淹水製圖。透過地形分析可迴避高風險潛勢區域，例如地質敏感地區、易淹地區、易崩塌地區，不適合建設鐵公路系統的坡度或高程等，以確保系統之衝擊耐受力。此規劃工具適用於鐵公路的平面、高架、地面與隧道等設施型態，可用於分析強降雨與暴潮可能造成的淹水與崩塌以及海平面上升可能淹沒的區域。
- ② 國外在設計施工上應用數位分身模擬不同的設計方案，以觀察方案對周邊環境可能帶來的影響與工程上所需的調整等。例如，挪威卑爾根輕軌延伸計畫的規劃團隊透過數位分身模擬了 30 個不同的線型，以選取最合適的設計方案，並可視覺化所有的設計方案，以利與利害關係人溝通。
- ③ 維護管理階段最重要的工作為確保系統可正常營運。國外在科技應用於管理上主要導入物聯網，透過佈設感應器，從後台密切監測，並主動發送訊息給維護管理人員與決策人員。例如，東日本鐵路導入工業物聯網，透過預測分析設施狀態為基礎進行設施維

護，取代過往以時間為基礎的維護與受損後修復，減少維護成本；義大利的公路物聯網計畫採用 IoT 系統優化監測、維護、管理基礎設施的作業與方式，支援即時、設施全生命週期的狀況監測與管理作業。運用 IoT 數據與資料分析管理資產可用性，減少營運風險並降低營運成本、縮短營運中斷時間及最佳化資產效能表現。

- ④ 風險監控為重要的營運管理作為，透過感應器結合大數據分析與物聯網做軌溫的風險監控，例如，荷蘭的鐵路物聯網軌溫感測系統。
- ⑤ 巡檢上採用數位化與輕便化之 3D 掃描科技，並應用 AI 做設備狀態的辨識，如蘇格蘭與瑞士的 3D 隧道掃描技術。
- ⑥ 數位分身除用於設計施工階段外，亦適用於維護管理階段，透過數位分身可進一步模擬與掌握如遇到天氣事件時可能的損害，以利於氣候變遷環境下正常營運。

5. 運輸系統調適策略滾動檢討

以 108 年計畫所研提之調適策略為基礎，綜理國際調適趨勢、新科技調適能力應用方向、國內運輸設施管理機關（構）當前之作為及建議事項等，滾動檢討運輸系統氣候變遷調適策略。

依循《國家因應氣候變遷行動綱領》之指導，並參考《國家氣候變遷調適行動方案（107-111 年）》，以「建構能適應氣候變遷環境的韌性運輸系統、提升運輸設施氣候變遷調適能力」為策略。本計畫訂定運輸系統氣候變遷調適策略整體目標為：「建構具氣候變遷韌性的運輸系統」。提出「提升氣候變遷衝擊耐受度、降低氣候變遷衝擊脆弱度、優化氣候變遷衝擊反應力、建構氣候衝擊決策力」等運輸系統四大調適策略及 15 項調適措施（參見圖 6.1.1）。



資料來源：本計畫繪製。

圖 6.1.1 運輸系統調適策略架構示意圖

6. 鐵公路調適風險評估資訊移轉應用

延續 108 年計畫與鐵公路設施管理機關（構）溝通蒐集之資訊與意見，規劃將風險評估資訊移由機關（構）納入其既有系統辦理。規劃 3 個風險資訊移轉方案。以說明會向鐵公路設施管理機關（構）說明方案，以利機關（構）評估選取合適移轉方案。鐵公路設施管理機關（構）選擇方案如表 6.1-1。

表 6.1-1 各鐵公路設施管理機關（構）選擇之風險資訊移轉方案一覽表

機關（構）	選擇方案	方案應用
高公局	方案一	圖資參考
公路總局	方案一	圖資參考
臺鐵局	方案一	提供給維運邊坡系統之廠商評估納入系統做參考
鐵道局	方案一	圖資存檔並做為後續規劃業務參考
高鐵公司	方案二	圖資以 WMS 的方式鑲嵌在既有的 GIS 平台並學習風險計算方式，未來就公司需求調整評估指標權重

資料來源：本計畫彙整。

7. 鐵公路氣候變遷調適資訊平台維護管理

(1) 介面維護

① 介接 API 更新

整合國家災害防救科技中心的民生示警公開資料平台資訊，篩選颱風、淹水、土石流、雷雨等項目進行串接收納至平台上的最新消息。

② 介接維護以主動更新

將各介接連結納入 uptimerobot，確保連線中斷時可主動發現，即因應調整。

(2) 資安防護

① 異常監控

系統除驗證碼功能外，並設定如登入失敗次數過多則鎖定。另外，強化系統 Log 紀錄，除原先介面等級紀錄外，詳細記錄使用者操作或輸入之搜尋條件或登入資料，以利後續檢核使用。並每日定時發送資料監控郵件。

② 環境防護

以防毒軟體定時掃描並定時更新軟體，避免軟體與作業系統的漏洞造成損害，另每月定時檢核，檢視異常資訊，提前進行防範與偵測。

③ 備援備份

系統資料庫每日定時完整備份於本機端，另每月將資料庫備份至異地，確保資料無虞。而程式碼則透過 SVN 版本控制，確保程式碼均為最新，且可按照需求回朔版本與識別版本別。

④ 資安檢測整體安全

採用 paros 做為弱點掃描的工具，經由 paros 檢測出來的結果高風險以及中風險均為 0，但存在著 1 個中風險，發生原因係系統在頁面上並未設定禁止瀏覽器暫存頁面內容，但不會實際危害到資訊安全。

(3) 效能與壓力檢測

① 效能檢測整體流暢

採用 google 提供的開發者工具 (Developer Tool) 檢測效能，測試結果顯示資料量較少的查詢頁面如調適知識庫、風險評估專區，回

應秒數多在 1.2 秒內完成，更新評估方法時，為呈現較佳畫面，放上解析度較佳圖檔，故回應秒數超過 1 秒，其餘皆在 2.26 秒內完成。

② 壓力檢測結果穩定

採用 JMeter 做為伺服器端效能與壓力測試的工具，由測試出來的結果可看到在 10 分鐘內上線 10 人、50 人與 100 人，系統的回應時間並無太大差異，代表系統在 10 分鐘內乘載 100 人並無超過負荷，皆在穩定範圍。

6.2 建議

本節綜理本計畫執行過程中之觀察及發現，參考《國家因應氣候變遷行動綱領》之原則：「強化科學基礎...提升因應氣候變遷之調適作為及建構韌性發展。」，提出後續調適工作推動與研究議題建議，供運輸設施管理機關（構）與相關機關（構）參考，分項說明如下：

1. 國內部會中長期預算應編列調適預算，以爭取足夠的資金推動政府調適計畫優先事項

國內的調適計畫目前尚未有專門的調適預算或基金做執行，目前係採公務預算編列方式支應，因預算有限，具韌性的行動計畫與其他面向的行動計畫競爭資源，受預算研擬的流程與調適概念及知識尚未主流化的種種限制，尤其，調適行動計畫的相關效益較不易立即具體反映，導致調適預算的推動有所困難，故需政府政策方向的介入與領導，推動調適預算的編列並落實調適主流化，以爭取足夠資金推動調適相關工作。

2. 調適思維的推動與主流化

設施管理機關（構）對調適思維的認同與向心力很重要，透過工作坊、培訓及訂定規範等方式，深化機關（構）對調適與系統韌性的認識與其重要性的認同。為了加強認同性，機關（構）也建議適時在對內與對外的場合上宣導其在調適上的相關作為。

3. 運輸系統調適策略的推動與應用

為能讓海空運與鐵公路等運輸系統應用運輸系統調適策略，建議設施管理機關（構）參考本計畫研擬的四大策略與 15 項措施，檢視各自系統調適工作的推動狀況，以盤點調適缺口並加強推動調適措施。例如各運輸系統可以 15 項措施、生命週期階段製作矩陣及辯別缺口，以利調適推動發展。

4. 風險評估方法、風險基準之訂定並定期評估

風險評估為調適工作重要的基礎，建議先掌握氣候變遷情下的風險與可接受之風險程度（即風險基準），了解運輸系統調適缺口，方能進行調適行動之研擬與規劃。於《溫室氣體減量及管理法施行細則》第 11 條亦明文規定設施管理機關（構）需進行脆弱度與衝擊評估，以利掌握其設施在氣候變

遷環境下的狀態，設施管理機關（構）需深入探討風險管理，並將風險等級分出細項，依設施類別之差異劃分各風險等級之內容與分類，如道路、橋梁、機電設備等，如風險評估的結果超出機關（構）可承受之基準，則需著手研擬調適策略並逐步降低風險，提高設施韌性，且需定期重新進行脆弱度與風險的評估，以掌握設施最新風險狀態，並確保後續調適策略可以進行保留風險的措施，避免無效資源的投入。

5. 推動運輸系統設施規劃、設計、施工及養護相關規範之檢討與修訂

鑑於氣候變遷導致極端天氣事件的發生頻率增加，但許多的運輸系統設施之設計及養護相關規範未將氣候變遷因素納入考量，造成設施在天氣事件發生時可能不足應付衝擊，建議透過檢討與修訂設計養護等相關規範，提高設施耐受力。規劃、設計、施工及養護相關規範之檢討，除了可以歷史上曾發生之極端事件做為安全標準檢討依據外，更須將預測之氣候變遷情境下的現況及未來風險納入考量，並強調優先迴避高風險潛勢地區。

6. 加強推動跨部門整合與資訊共享

調適非單一部門之工作，建議透過跨部門的合作與資料共享有助於強化調適能力。例如，各系統的聯外道路、跨運輸系統的備援機制及整體的韌性運輸環境都需仰賴跨部門的合作。另外，透過資料共享，可掌握整體運輸系統的設備狀況，整合調適的能量，共同提升系統的衝擊耐受力，於受氣候變遷衝擊時，啟動共同應變，降低受天氣事件之衝擊。

此外，氣象資訊為調適工作推動的重要參考基礎，目前氣象局已有透過QPESUMS系統提供設施管理機關（構）雨量預警資料，建議設施管理機關（構）可就其風險點位所需與氣象局協商加強資料之蒐集與分析應用。

7. 調適計畫之監控、評估與學習機制之建立

調適計畫的執行狀況建議進行監控以確保其符合設定的調適目標，並依據執行狀態評估計畫內容與方法是否需調整。於計畫後評估計畫前與計畫後的差異，以利分析計畫之成效，並從中分析值得學習之計畫管理、調適計畫研擬過程、調適方案選擇等，以利後續調適計畫之精進。

8. 建議善用數位科技提升調適能力

(1) 彙整國內調適技術並推動國際交流與技術移轉

持續借鏡國外推動調適的經驗與技術，積極進行雙向交流與學習，以利提升國內調適能量。另外，也可持續提升技術，在氣候變遷的環境下，思考運輸產業可能的新作為。

(2) 研究應用 GIS 結合氣候情境資料於運輸系統規劃

規劃時迴避高風險潛勢地區為重要的調適作為，應用 GIS 工具結合氣候情境資料做為規劃時的重要依據，以輔助運輸系統提升整體韌性。

(3) 研究應用數位分身於設施全生命週期之管理

數位分身的應用在設計施工階段可避免不適合之設計方案與工程工法，並考量設計方案對周邊環境的影響。設施施工建置之數位分身可持續於維護管理階段應用，以利管理人員掌握系統狀態並可進行預防性的養護，以確保系統強度與韌性，降低面對極端氣候事件的衝擊傷害。建議設施管理機關(構)先盤點已發展的數位分身與等級，以利決策未來的推動發展。

9. 海空運風險評估方法之研議

本所歷經多年研究已建立全臺尺度的鐵公路風險評估方法與風險地圖，提供鐵公路設施管理機關(構)做為研擬調適策略與措施之基礎。為更全面協助運輸系統進行風險評估與風險管理，本所 109 年度也透過自辦研究計畫蒐集國內可提供海空運系統風險評估之相關數據與資料，建議海空運設施管理機關(構)可以此研究成果做為基礎，持續針對其設施進行風險評估方法的建立，並可透過資產管理之做法達到風險管理的效果。

10. 氣候衝擊資料的盤點與掌握

氣候變遷調適方案的規劃，需要因地制宜掌握明確的氣候變遷衝擊資料，建議後續設施管理機關(構)可盤點調適所需的氣候變遷資訊，以評估目前的氣候變遷推估資料是否足以輔助運輸設施管理機關(構)規劃調適作為。

11. 運輸系統備援體系與運作機制研究

為提高運輸系統在氣候變遷衝擊上的預警應變能力，各運設施管理機關(構)需對本身及跨系統的替代性運作機制進行研究，及研擬備援方案，包含備援運輸場站、替代路線、運具等；而跨系統的備援方案需考慮各運輸系統的特性差異，也需要強化跨機關(構)間協調與溝通管道，建議可先以全國或區域規劃整體備援體系與運作機制，做為各運輸系統發展上的參考。

12. 運輸系統氣候變遷調適計畫投資評估方法研究

為能讓有限的預算做最佳化運用，交通建設計畫的投資均會利用財務評估或經濟效益分析（如多準則評估）的方式，來評判計畫是否值得投資，或排定推動優先順序的依據。然而，因為調適計畫之成本與效益估計不易，目前國內的計畫審議決策過程大多未將調適成本納入考量，導致調適計畫的必要性不易凸顯。反觀國外先進國家已逐步辨識調適計畫成本效益評估可使用之參數。

為能具體呈現調適計畫之效益，以凸顯調適計畫的必要性，建議各運輸設施管理機關（構）著手研議適用於該運輸系統氣候變遷調適計畫的計畫投資評估方法，甚至編擬評估作業手冊，做為評估調適相關計畫之參考或依據。

13. 調適研究資料共享與互惠

因應氣候變遷之衝擊，許多部會也積極辦理調適議題之相關研究，成果豐碩。建議未來調適之研究可積極與不同部會互動，參考研究成果，交流與共享資訊，以強化研究能量。

參考文獻

1. 行政院環境保護署，國家溫室氣體減量法規資訊網，<https://ghgrule.epa.gov.tw/greenhouse/greenhouse>，民國 104 年。
2. 行政院環境保護署，國家因應氣候變遷行動綱領（核定本），民國 106 年。
3. 環保署，國家氣候變遷調適行動計畫(107-111 年)-維生基礎設施領域行動方案，民國 108 年。
4. 交通部運輸研究所，鐵公路氣候變遷調適行動方案之研究，民國 107 年。
5. 交通部運輸研究所，運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫，民國 108 年。
6. 交通部運輸研究所，運輸系統調適策略研究，民國 109 年。
7. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Fifth Assessment Report (AR5), 2014.
8. 國家發展委員會，國家氣候變遷調適政策綱領，民國 101 年。
9. 國家災害防救科技中心，臺灣氣候變遷科學報告 2017，民國 106 年。
10. United Nations Framework Convention on Climate Change, the Paris Agreement. http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php, 2016.
11. UNFCCC, Draft report of the Conference of the Parties on its twenty-fifth session, 2019.
12. The International Organization for Standardization, ISO 14090 Adaptation to Climate Change - Principles, Requirements and Guidelines, <https://www.iso.org/standard/68507.html>, 2019.
13. United Nations Economic Commission for Europe, Climate Change Impacts and Adaptation for Transport Networks and Nodes, 2020.
14. Reeves, S., Winter, M., Leal, D., and Hewitt, A. May. Rail: An Industry Guide to Enhancing Resilience Primer. TRL and Resilience Shift, UK, 2019.

15. Climate –adapt, <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/incorporating-climate-change-risks-in-planning-the-modernization-of-the-railway-corridor-in-slovakia>, 2020.
16. Reeves, S., Winter, M., Leal, D., and Hewitt, A. May. Roads: An Industry Guide to Enhancing Resilience Primer. TRL and Resilience Shift, UK, 2019.
17. Federal Highway Administration, Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: an Implementation Guide, 2019.
18. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2020. Incorporating the Costs and Benefits of Adaptation Measures in Preparation for Extreme Weather Events and Climate Change Guidebook. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25744>.
19. The World Association for Waterborne Transport Infrastructure, Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways, 2020
20. National Academy of Sciences, Climate Resilience and Benefit–Cost Analysis: A Handbook for Airports, 2019.
21. 國家發展委員會，國家氣候變遷調適行動計畫(102-106 年)-維生基礎設施領域行動方案，民國 103 年。
22. 行政院，數位國家·創新經濟發展方案(2017-2025 年)，民國 106 年。
23. 行政院，前瞻基礎建設計畫，民國 106 年。
24. 行政院，國家科學技術發展計畫(民國 106 年至 109 年)，民國 106 年。
25. 交通部，2020 交通科技產業政策白皮書，民國 109 年。
26. 科技部/環保署/交通部/內政部/經濟部，建構民生公共物聯網計畫(核定本)，民國 106 年。
27. 任以永，台灣高鐵 ITS 發展經驗與未來展望，土木水利 第四十五卷第二期，民國 107 年。
28. 行政院，國家氣候變遷調適行動方案(107-111 年)，民國 108 年。

29. Esri, <https://www.esri.com/>, 2020.
30. ArcGIS, <https://www.esri.com/en-us/home>, 2020.
31. Arup, Digital Twin, 2019.
32. BIMTODAT, Digital twins prove game-changer for Bergen's light rail extension, <https://www.pbctoday.co.uk/news/bim-news/digital-twins-light-rail/76313/>, 2020.
33. Railwaypro, ProRail to install IoT sensors to monitor rail infrastructure, <https://www.railwaypro.com/wp/prorail-install-iot-sensors-monitor-rail-infrastructure/>, 2017
34. The things network, LoRaWAN for the Dutch railways, <https://www.thethingsnetwork.org/article/lorawan-for-the-dutch-railways>, 2020.
35. Federal Railroad Administration, Rail Moving America Forward, 2019.
36. Korecgroup, Trimble GEDO IMS, <https://www.korecgroup.com/product/trimble-gedo-ims/>, 2020.
37. Tunnel, Tunnel Inspection with Artificial Intelligence, https://www.tunnel-online.info/en/artikel/tunnel_Tunnel_Inspection_with_Artificial_Intelligence_3381411.html, 2020.
38. Parc, Improving Railway Efficiency with IIoT System Analytics <https://www.parc.com/case-study/improving-railway-efficiency-with-condition-based-maintenance>, 2020.
39. Traffic Technology today.com, AI-based platform to monitor Italian highways infrastructure, <https://www.traffictechanologytoday.com/news/infrastructure/ai-based-platform-to-monitor-italian-highways-infrastructure.html>, 2020.
40. 王慶雄、林蔚然，山區隧道損壞之檢測調查—以台 20 線嘉寶隧道為例，土木水利 第四十二卷 第一期，民國 104 年。

41. iThome, 營造業靠 BIM 實現建築數位分身，設計施工到視覺化維運都能用, <https://www.ithome.com.tw/people/137308>，民國 109 年。
42. 陳昇璋、溫怡玲，人工智慧在台灣：產業轉型的契機與挑戰，民國 108 年。
43. Intergovernmental Panel on Climate Change, Managing the Risk of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation Summary for Policymakers, 2012.
44. 行政院公共工程委員會，公共建設工程經費估算編列手冊總則篇（修正版），民國 107 年。
45. 經濟部水利署，因應氣候變遷防洪策略之排水系統與交通路網整合方案研究（1/2），民國 105 年。
46. 吳明溟，坡地災害及其防救，民國 107 年。
47. 教育部，氣候變遷調適專業融入補充教材-維生基礎設施（交通系統）領域（2017 年版），民國 106 年。
48. 國家發展委員會，公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊，民國 97 年。
49. 交通部運輸研究所，港灣構造物維護管理制度與資訊系統之推動與應用，民國 107 年。

附錄 1

計畫摘要

計畫摘要

一、計畫緣起

運輸系統為國家重要維生基礎設施，伴隨氣候變遷及極端天氣事件發生頻率增加，其設施受損與營運中斷風險亦隨之提高。為提升並健全臺灣面對氣候變遷的調適能力，我國於 104 年 7 月公布施行《溫室氣體減量及管理法》，其中第 13 條明定中央目的事業主管機關應研議調適策略，並配合每年提送氣候變遷調適成果。前揭事項在運輸系統上涉及不同運輸設施管理機關（構），係屬交通部層級之施政策略方向，爰需對整體運輸設施有上位政策之探討。

交通部運輸研究所自 106 年起開始執行調適策略之系列研究，已於民國 107 年辦理完成「運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫」，初步歸納不同運輸系統之調適課題並提出調適策略建議。108 年計畫「運輸系統調適策略研究」，因應國際調適趨勢、設施管理機關（構）之調適方向及新科技可提供之調適輔助，滾動更新調適策略內容。

為掌握國際最新調適趨勢，並積極運用新科技強化運輸系統之調適能力，持續滾動檢討運輸系統調適策略之內容並提供鐵公路設施管理機關（構）運用新科技於調適之建議；此外，為強化鐵公路設施管理機關（構）之氣候變遷風險評估工作，以調適系列研究建置之「鐵公路氣候變遷調適資訊平台」為基礎，透過機關（構）溝通及訪談，研擬該平台及風險資訊之最佳應用移轉方式。同時，為深化設施管理機關（構）人員對調適的認識，以利推動調適相關業務，仍需持續辦理調適專業知識教育訓練工作。基於以上業務推動之需要，爰辦理本計畫。

二、重要工作成果

1. 國際調適新趨勢

(1) 國內部會中長期預算應編列調適預算

國內支出預算需和氣候變遷行動結合，促進國際與國內的融資，以累積足夠的基金推動政府調適計畫優先事項與調適工作需求；在資金有限的狀況下，與民間和地方社會建立連結，以取得更好的調適工作成果且應積極邀請私部門參與調適，如研發輔助調適作業的新科技、適應氣候變遷環境的設備等。

(2) 建立監控調適計畫與維持計畫彈性

為確保調適策略的執行與其效果的達成，透過建立調適工作專案生命週期並投入專案監測、評估和學習系統，儘量使專案產出超過原先制訂之目標；透過持續回顧、回應與因應新的狀態、環境、方法與方案等，採用滾動學習的方式，以調整因應之方式，維持調適措施的彈性。在調適的執行上，也將減少傷害的風險方法結合，以降低風險、減輕脆弱性並促進可持續發展為核心目標。

(3) 加強利害關係人參與

私部門與公部門需攜手展開有意義且具有包容性的接觸與溝通，對象包含各種利害關係人以及婦女、青年、原住民以及貧困和弱勢群體等，以確保調適工作和韌性建設能以人為本，也需考慮在教育、培訓、公眾意識方面進行重點投資。

(4) 將調適思維與措施導入至組織與跨組織

國際標準化組織（International Organization for Standardization, ISO）發布了全球第一項針對氣候變遷調適的標準：ISO14090 氣候變遷調適—原則、規定與指導。該標準說明組織進行調適需注意之事項與工作，以利運輸系統與其他領域組織可參考此指導研擬調適計畫，並說明如何將調適思維與措施導入至組織與跨組織。此標準可協助組織辨識與瞭解氣候變遷的影響與不確定性並用於支援決策，除了管理風險外，也可從中利用氣候變遷所帶來的機會。

(5) 將調適作為導入規劃、設計及投資決策程序

聯合國歐洲經濟委員會於 2020 年發佈《運輸網絡及節點的氣候變遷衝擊與調適》，檢討過去各成員國於運輸系統氣候變遷衝擊分析及風險評

估之作業缺口，並提出未來調適作業執行之建議方向，尤其強調應從基本
面加強建立氣候資訊、蒐集分析運輸相關數據以及建立實用的評估方法及
工具，以利將調適作為導入規劃、設計及投資決策程序之中。

2. 運輸系統調適策略滾動檢討

本計畫以 108 年計畫「運輸系統調適策略研究」所研提之調適策略為基
礎，綜理國際趨勢、新科技運用方向、國內運輸設施管理機關（構）當前之
調適作為及建議事項等，滾動檢討運輸系統氣候變遷調適策略。

依循《國家因應氣候變遷行動綱領》之指導，並參考《國家氣候變遷調
適行動計畫（107-111 年）》，以「建構能適應氣候變遷環境的韌性運輸系統、
提升運輸設施氣候變遷調適能力」為策略。本計畫訂定運輸系統氣候變遷調
適策略整體目標為：「建構具氣候變遷韌性的運輸系統」。調適策略分為「提
升氣候變遷衝擊耐受度、降低氣候變遷衝擊脆弱度、優化氣候變遷衝擊反應
力、建構氣候衝擊決策力、」等四大策略，針對各項調適課題提出共 15 個
調適措施。

(1) 策略一：提升氣候衝擊耐受度

措施		措施重點	屬性	期程
1-1	建立設施安全 性與風險評估 方法、風險基 準並定期評估	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關（構） • 建立設施安全性標準與評估方法並持 續精進 • 建立氣候變遷風險評估方法，訂定可承 受之風險基準並持續精進 • 定期或於重大天氣事件衝擊後評估設 施安全性與風險等級 	■個別 系統	持續 性
1-2	檢討並將氣候 調適概念納入 規劃、設計、 施工及養護相 關規範與作業 程序	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關（構） • 檢討並提高設施抗氣候變遷環境標準 • 訂定氣候衝擊影響評估的標準與應用 之參數 • 將風險分析及氣候變遷模擬結果納入 規劃、設計、施工及養護相關規範、作 業流程或手冊中考量 ■運輸研究所 • 製作指導手冊，以利做為可行性評估與 綜合規劃階段審查的參考 	■個別 系統	短、 中期
1-3	迴避高風險潛 勢地區並考量 周邊環境關係	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關（構） • 新建設施選址應考量氣候變遷情境並 	■個別 系統	持續 性

	，持續發生受損阻斷之系統點位規劃改線、廢線	<p>迴避高風險地區</p> <ul style="list-style-type: none"> 與環境部會考量周邊環境關係，並視情況運用以自然為本方案 針對不適合回復原有功能的路段評估修養、改道、廢線等方案 		
1-4	運用或研發有助提升衝擊耐受力的科技、材料、工程工法與設備	<p>■設施管理機關（構）</p> <ul style="list-style-type: none"> 依氣候變遷情境所致風險之分析與模擬結果，並視資源與需要運用科技、材料、工程工法與設備提升設施耐受力 推動示範或先導計畫運用科技、材料、工程工法與設備並監測其於提升衝擊耐受度的成效 彙整國內各研發單位技術並進行國外新技術的交流與移轉 	■個別系統	持續性

(2) 策略二：降低氣候衝擊脆弱度

措施		措施重點	屬性	期程
2-1	檢討並調整氣候變遷環境下之風險監測	<p>■設施管理機關（構）</p> <ul style="list-style-type: none"> 檢討及調整監測設施的設置點位與密度 加強即時監測的涵蓋面 思考應用微型氣象站蒐集之小尺度資訊結合氣候局大尺度資料做數據之微調，以利更完善掌握設施周邊之氣候狀態 <p>■氣象局</p> <ul style="list-style-type: none"> 加強相關氣象資訊之提供 	<p>■個別系統</p> <p>■跨單位</p>	短期、中期
2-2	加強跨運輸系統間的運輸連結性	<p>■設施管理機關（構）彼此間之連結性加以強化：</p> <ul style="list-style-type: none"> 國道及快速公路交流道及其聯絡道路 鐵路車站聯外道路 機場及港口聯外道路 重大儲油、儲氣、儲水、儲電設施聯外道路 	■個別系統	中期
2-3	建立運輸系統設施的內部與外部備援方案	<p>■設施管理機關（構）</p> <ul style="list-style-type: none"> 研議運輸系統內部備援體系與運作機制與外部跨運輸備援體系與運作機制 與運輸業者規劃系統內部及外部跨系統的備援設施、替代路線、替代運具以及接駁運具等 強化道路阻斷資訊與替代路線的資訊傳遞 	<p>■個別系統</p> <p>■跨系統</p> <p>■跨單位</p>	短期

(3) 策略三：優化氣候衝擊反應力

措施		措施重點	屬性	期程
3-1	建構跨運輸系統預警應變網絡	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關(構) •彙整國內外各研發單位技術 •共享資訊，以加強應變與橫向聯防 •利用免費社群網路做資訊傳遞 •進行天氣事件衝擊機率研究 	<ul style="list-style-type: none"> ■個別系統 ■跨系統 ■跨單位 	短期
3-2	建立分階段復建原則	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關(構) •依運輸系統設施地區回復程度建立分階段復建原則 •掌握受損範圍回復狀態，透過資料之蒐集決定復建期程與工法 •彙整國內各研發單位技術 ■交通部 •研議簡易修復相關規範 	<ul style="list-style-type: none"> ■個別系統 	中、長期

(4) 策略四：建構氣候衝擊決策力

措施		措施重點	屬性	期程
4-1	建立調適計畫投資決策評估方法	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關(構)與運輸研究所 •建立氣候變遷調適計畫成本效益評估方法並持續精進 ■設施管理機關(構) •規範調適計畫於預算申請時檢附計畫成本效益評估作佐證 	<ul style="list-style-type: none"> ■個別系統 	短期
4-2	建立調適計畫監控、評估、學習機制	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關(構) •建立調適計畫管理、監測與學習機制 	<ul style="list-style-type: none"> ■個別系統 	短期
4-3	建置氣候風險管理與調適計畫研擬所需資料庫及工具	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關(構)建置風險管理資料庫，可以TGOS平台共享 •設施全生命週期管理資料庫 •風險評估指標資料庫 •風險潛勢調查分析與情境模擬 •計畫投資評估參數資料庫 ■設施管理機關(構)建置有助提升風險管理效率支援系統工具並持續優化 •設施全生命週期管理系統 •設施風險評估資訊系統 •氣候變遷調適計畫投資決策支援系統 ■設施管理機關(構)開發有助研擬調適計畫的資料庫 •調適方案/計畫、研究參考 	<ul style="list-style-type: none"> ■個別系統 ■跨單位 	持續性

		• 氣候與歷史衝擊數據		
4-4	推動氣候調適跨域整合推動平台與機制，加強資訊共享	<ul style="list-style-type: none"> ■交通部 • 推動運輸系統氣候變遷調適整合推動平台與機制，鼓勵資料共享 	<ul style="list-style-type: none"> ■跨系統 ■跨單位 	中期
4-5	培育氣候變遷風險管理與調適專業人力	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關（構） • 辦理運輸系統氣候變遷調適議題國內與國際研討 • 建立氣候變遷調適人才培訓制度（可分階段培訓） • 視需要成立氣候變遷調適專責單位 	<ul style="list-style-type: none"> ■個別系統 	短、中期
4-6	辨識利害關係人並與其溝通或合作調適計畫	<ul style="list-style-type: none"> ■設施管理機關（構） • 辨識利害關係人 • 建立雙向風險溝通與資訊教育之機制 • 建立利害關係人可合作調適計畫的不同機制 	<ul style="list-style-type: none"> ■個別系統 	短、中期

註：短期為 1-2 年、中期為 3-5 年、長期為 5-10 年。

3. 國內外鐵公路應用新科技提升調適能力案例彙析

(1) 國內案例

- ① 鐵路目前運用之科技多為加強管理與監設的技術，如高鐵運用 360 度的地面光達雷射掃描儀紀錄邊坡狀態，以觀察每個沿線邊坡的傾斜狀況，另外也以雨量資料建立模式預測邊坡安全性；臺鐵則建置邊坡全生命周期管理系統，整合監測與巡檢資料並進行異常的通報。
- ② 公路在調適上運用監控設備、無人機巡檢等設備提高用路人之安全。公路總局運用遙測技術、導入科技巡檢、定量分級管理以強化邊坡；高公局則結合無人機與 AI 辨識河道變化與環境變化評估，做為改善與規劃設計依據。

(2) 國外案例

- ① 在規劃階段，國外將氣候變遷情境納入 GIS 中做模擬，例如美國國家海洋和大氣管理局與美國環境系統研究所公司合作，利用地形分析和水利模型，建立各河川流量預測，精進洪水與淹水製圖。透過地形分析可迴避高風險潛勢區域，例如地質敏感地區、易淹地區、易崩塌地區，不適合建設鐵公路系統的坡度或高程等，以

確保系統之衝擊耐受力。此規劃工具適用於鐵公路的平面、高架、地面與隧道等設施型態，可用於分析強降雨與暴潮可能造成的淹水與崩塌，以及海平面上升可能淹沒的區域。

- ② 國外設計施工上運用數位分身模擬不同的設計方案，以觀察方案對周邊環境可能帶來的影響與工程上所需的調整等，例如挪威卑爾根輕軌延伸計畫的規劃團隊透過數位分身模擬 30 個不同的線型，以選取最合適的設計方案的並可視覺化所有的設計方案，以利與相關利害關係人溝通。
- ③ 維護管理階段最重要的工作為確保系統可正常營運。國外在科技運用於管理上主要係導入物聯網 (Internet of Things, IoT) 的概念，透過佈設感應器，從後台密切監測，並主動發送訊息至維護管理人員與決策人員。例如東日本鐵路的導入工業物聯網 (IIoT)，透過預測分析設施狀態為基礎進行設施維護，取代過往以時間為基礎的維護與受損後修復，以減少維護的成本，以及義大利的公路採用 IoT 系統優化監測、維護、管理基礎設施的作業與方式，支援即時與設施全生命週期的狀況監測與管理作業，運用 IoT 數據與資料分析管理資產可用性，以減少營運風險並降低營運成本、縮短營運中斷時間，以及最佳化資產的效能表現。
- ④ 風險監控為重要的營運管理作為，透過感應器結合大數據分析與 IoT 做軌溫的風險監控，例如，荷蘭的鐵路 IoT 軌溫感測系統。
- ⑤ 巡檢上採用數位化與輕便化之 3D 掃描科技，並運用 AI 做設備狀態的辨識，如蘇格蘭與瑞士的 3D 隧道掃描技術。
- ⑥ 數位分身除用於設計施工階段外，亦適用於維護管理階段，透過數位分身可進一步模擬與掌握如遇到天氣事件時可能的損害，以利於氣候變遷環境下正常營運。

4.鐵公路調適風險評估資訊移轉應用

延續 108 年計畫與鐵公路設施管理機關(構)溝通所蒐集之資訊與意見，規劃將鐵公路風險評估資訊移由設施管理機關(構)納入其既有系統辦理，各單位可針對業務屬性進行細部檢視及加值，故規劃 3 個風險資訊移轉方案。透過說明會向鐵公路設施管理機關(構)說明方案特性、優缺點與應用，

以利設施管理機關（構）評估選取適合的風險資訊移轉方案。鐵公路設施管理機關（構）選擇之移轉方案整理如附表 1-1 所示。

附表 1-1 各鐵公路設施管理機關（構）選擇之風險資訊移轉方案一覽表

單位	選擇方案	方案應用
高公局	方案一	圖資參考
公路總局	方案一	圖資參考
臺鐵局	方案一	提供給維運邊坡系統之廠商評估納入系統做參考
鐵道局	方案一	圖資存檔並做為後續規劃業務參考
高鐵公司	方案二	圖資以 WMS 的方式鑲嵌在既有的 GIS 平台並學習風險計算方式，未來就公司需求調整評估時設定的指標權重

資料來源：本計畫訪談與彙整。

5. 鐵公路氣候變遷調適資訊平台維護管理

(1) 介面維護

① 介接 API 更新

整合國家災害防救科技中心的民生示警公開資料平台資訊，篩選颱風、淹水、土石流、雷雨等項目進行串接收納至平台上的最新消息。

② 介接維護以主動更新

將各介接連結納入 uptimerobot，確保連線中斷時可主動發現，即因應調整。

(2) 資安防護

① 異常監控

系統除驗證碼功能外，並設定如登入失敗次數過多則鎖定。另外，強化系統 Log 紀錄，除原先介面等級紀錄外，詳細記錄使用者操作或輸入之搜尋條件或登入資料，以利後續檢核使用。並每日定時發送資料監控郵件。

② 環境防護

以防毒軟體定時掃描並定時更新軟體，避免軟體與作業系統的漏洞造成損害，另每月定時檢核，檢視異常資訊，提前進行防範與偵測。

③ 備援備份

系統資料庫每日定時完整備份於本機端，另每月將資料庫備份至異地，確保資料無虞。而程式碼則透過 SVN 版本控制，確保程式碼均為最新，且可按照需求回溯版本與識別版本別。

④ 資安檢測整體安全

採用 paros 做為弱點掃描的工具，經由 paros 檢測出來的結果高風險以及中風險均為 0，但存在著 1 個中風險，發生原因係系統在頁面上並未設定禁止瀏覽器暫存頁面內容，但不會實際危害到資訊安全。

(3) 效能與壓力檢測

① 效能檢測整體流暢

採用 google 提供的開發者工具 (Developer Tool) 檢測效能，測試結果顯示資料量較少的查詢頁面如調適知識庫、風險評估專區，回應秒數多在 1.2 秒內完成，更新評估方法時，為呈現較佳畫面，放上解析度較佳圖檔，故回應秒數超過 1 秒，其餘皆在 2.26 秒內完成。

② 壓力檢測結果穩定

採用 jmeter 做為伺服器端效能與壓力測試的工具，由測試出來的結果可看到在 10 分鐘內上線 10 人、50 人與 100 人，系統的回應時間並無太大差異，代表系統在 10 分鐘內乘載 100 人並無超過負荷，皆在穩定範圍。

三、建議

綜理本計畫執行過程中之調察，提出後續調適工作推動與研究議題建議，供運輸設施管理機關（構）與相關機關（構）參考，說明如下：

1. 國內部會中長期預算應編列調適預算，以爭取足夠的資金推動政府調適計畫優先事項

國內的調適計畫目前尚未有專門的調適預算或基金做執行，目前係採公務預算編列方式支應，因預算有限，具韌性的行動計畫與其他面向的行動計畫競爭資源，受預算研擬的流程與調適概念及知識尚未主流化的種種限制，尤其，調適行動計畫的相關效益較不易立即具體反映，導致調適預算的推動

有所困難，故需政府政策方向的介入與領導，推動調適預算的編列並落實調適主流化，以爭取足夠資金推動調適相關工作。

2. 調適思維的推動與主流化

設施管理機關（構）對調適思維的認同與向心力很重要，透過工作坊、培訓及訂定規範等方式，深化機關（構）對調適與系統韌性的認識與其重要性的認同。為了加強認同性，機關（構）也應適時在對內與對外的場合上宣導其在調適上的相關作為。

3. 運輸系統調適策略的推動與應用

為能讓海空運與鐵公路等運輸系統應用運輸系統調適策略，建議設施管理機關（構）參考本計畫研擬的四大策略與 15 項措施，檢視各自系統調適工作的推動狀況，以盤點調適缺口並加強推動調適措施。例如各運輸系統可以 15 項措施、生命週期階段製作矩陣及辯別缺口，以利調適推動發展。

4. 風險評估方法、風險基準之訂定並定期評估

風險評估為調適工作重要的基礎，需先掌握氣候變遷情下的風險與可接受之風險程度（即風險基準），了解運輸系統調適缺口，方能進行調適行動之研擬與規劃。於《溫室氣體減量及管理法施行細則》第 11 條亦明文規定設施管理機關（構）需進行脆弱度與衝擊評估，以利掌握其設施在氣候變遷環境下的狀態，設施管理機關（構）需深入探討風險管理，並將風險等級分出細項，依設施類別之差異劃分各風險等級之內容與分類，如道路、橋梁、機電設備等，如風險評估的結果超出機關（構）可承受之基準，則需著手研擬調適策略並逐步降低風險，提高設施韌性，且需定期重新進行脆弱度與風險的評估，以掌握設施最新風險狀態，並確保後續調適策略可以進行保留風險的措施，避免無效資源的投入。

5. 推動運輸系統設施規劃、設計、施工及養護相關規範之檢討與修訂

鑑於氣候變遷導致極端天氣事件的發生頻率增加，但許多的運輸系統設施之設計及養護相關規範未將氣候變遷因素納入考量，造成設施在天氣事件發生時可能不足應付衝擊，建議透過檢討與修訂設計養護等相關規範，提高設施耐受力。規劃、設計、施工及養護相關規範之檢討，除了可以歷史上曾發生之極端事件做為安全標準檢討依據外，更須將預測之氣候變遷情境下的

現況及未來風險納入考量，並強調優先迴避高風險潛勢地區。

6. 加強推動跨部門整合與資訊共享

調適非單一部門之工作，透過跨部門的合作與資料共享有助於強化調適能力。例如，各系統的聯外道路、跨運輸系統的備援機制及整體的韌性運輸環境都需仰賴跨部門的合作。另外，透過資料共享，可掌握整體運輸系統的設備狀況，整合調適的能量，共同提升系統的衝擊耐受力，於受氣候變遷衝擊時，啟動共同應變，降低受天氣事件之衝擊。

此外，氣象資訊為調適工作推動的重要參考基礎，目前氣象局已有透過 QPESUMS 系統提供設施管理機關（構）雨量預警資料，建議設施管理機關（構）可就其風險點位所需與氣象局協商加強資料之蒐集與分析應用。

7. 調適計畫之監控、評估與學習機制之建立

調適計畫的執行狀況需進行監控以確保其符合設定的調適目標，並依據執行狀態評估計畫內容與方法是否需調整。於計畫後評估計畫前與計畫後的差異，以利分析計畫之成效，並從中分析值得學習之計畫管理、調適計畫研擬過程、調適方案選擇等，以利後續調適計畫之精進。

8. 善用數位科技提升調適能力

(1) 彙整國內調適技術並推動國際交流與技術移轉

持續借鏡國外推動調適的經驗與技術，積極進行雙向交流與學習，以利提升國內調適能量。另外，也可持續提升技術，在氣候變遷的環境下，思考運輸產業可能的新作為。

(2) 研究應用 GIS 結合氣候情境資料於運輸系統規劃

規劃時迴避高風險潛勢地區為重要的調適作為，應用 GIS 工具結合氣候情境資料做為規劃時的重要依據，以輔助運輸系統提升整體韌性。

(3) 研究應用數位分身於設施全生命週期之管理

數位分身的應用在設計施工階段可避免不適合之設計方案與工程工法，並考量設計方案對周邊環境的影響。設施施工建置之數位分身可持續於維護管理階段應用，以利管理人員掌握系統狀態並可進行預防性的養護，

以確保系統強度與韌性，降低面對極端氣候事件的衝擊傷害。建議設施管理機關(構)先盤點已發展的數位分身與等級，以利決策未來的推動發展。

9. 海空運風險評估方法之研議

本所歷經多年研究已建立全臺尺度的鐵公路風險評估方法與風險地圖，提供鐵公路設施管理機關(構)做為研擬調適策略與措施之基礎。為更全面協助運輸系統進行風險評估與風險管理，本所 109 年度也透過自辦研究計畫蒐集國內可提供海空運系統風險評估之相關數據與資料，建議海空運設施管理機關(構)可以此研究成果做為基礎，持續針對其設施進行風險評估方法的建立，並可透過資產管理之做法達到風險管理的效果。

10. 氣候衝擊資料的盤點與掌握

氣候變遷調適方案的規劃，需要因地制宜掌握明確的氣候變遷衝擊資料，後續設施管理機關(構)可盤點調適所需的氣候變遷資訊，以評估目前的氣候變遷推估資料是否足以輔助運輸設施管理機關(構)規劃調適作為。

11. 運輸系統備援體系與運作機制研究

為提高運輸系統在氣候變遷衝擊上的預警應變能力，各運設施管理機關(構)需對本身及跨系統的替代性運作機制進行研究，及研擬備援方案，包含備援運輸場站、替代路線、運具等；而跨系統的備援方案需考慮各運輸系統的特性差異，也需要強化跨機關(構)間協調與溝通管道，建議可先以全國或區域規劃整體備援體系與運作機制，做為各運輸系統發展上的參考。

12. 運輸系統氣候變遷調適計畫投資評估方法研究

為能讓有限的預算做最佳化運用，交通建設計畫的投資均會利用財務評估或經濟效益分析(如多準則評估)的方式，來評判計畫是否值得投資，或排定推動優先順序的依據。然而，因為調適計畫之成本與效益估計不易，目前國內的計畫審議決策過程大多未將調適成本納入考量，導致調適計畫的必要性不易凸顯。反觀國外先進國家已逐步辨識調適計畫成本效益評估可使用之參數。

為能具體呈現調適計畫之效益，以凸顯調適計畫的必要性，建議各運輸設施管理機關(構)著手研議適用於該運輸系統氣候變遷調適計畫的計畫投資評估方法，甚至編擬評估作業手冊，做為評估調適相關計畫之參考或依據。

13. 調適研究資料共享與互惠

因應氣候變遷之衝擊，許多部會也積極辦理調適議題之相關研究，成果豐碩。建議未來調適之研究可積極與不同部會互動，參考研究成果，交流與共享資訊，以強化研究能量。

附錄 2

審查意見辦理情形

審查意見辦理情形

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：運輸系統因應氣候變遷調適之研究

執行單位：鼎漢國際工程顧問股份有限公司

會議日期：109 年 8 月 19 日（星期三）

會議地點：交通部運輸研究所 10 樓會議室

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
馮教授正民		
1.報告內容豐富，先給予肯定。	感謝委員肯定。	同意
2.調適策略的滾動檢討，可參考國外調適趨勢、新科技發展與利害關係人的意見。以簡報第 10 頁國外文獻蒐集來看，說明如下： (1) COP25 提到應加強公、私部門利害關係人的溝通與合作，因此本計畫除向專家及機關訪談外，是否也需考量將利害關係人列為訪談對象？ (2) 在加強機關間的資料共享上，風險資訊移轉之方案中，是否有機關間資訊共享的考量(如共通平台)？ (3) 因氣候變遷具不確定性，調適計畫也需具有彈性，但如何將彈性納入調適計畫中，可再進一步說明。 (4) 國家預算和氣候變遷行動掛勾，調適計畫執行需考量人力與資金方能達成。 (5) 國際標準組織提出了 ISO14090 氣候變遷調適之原則、規定與	文獻回顧的啟示以 2 種方式納入研究計畫中：(1)若可納入調適策略中，將納入並滾動檢討；(2)做為後續調適的推動或研究方向建議。 (1) 本計畫之性質屬上位指導策略，指導對象為設施管理機關，即為本計畫的利害關係人，故訪談機關。 (2) 在機關間的資料共享上，本計畫的風險資訊建置及移轉過程即是資料共享的展現。未來設施管理機關如有意願共享資料，可以考慮利用「國土資訊圖資服務平台(TGOS)進行風險資訊的資料共享。 (3) 就調適策略而言，強調調適策略的監控、評估與學習機制的建立，其即是透過持續回顧、回應與因應新的狀態、環境、方法與方案等，	同意

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
<p>指導，國內是否需要這樣的資訊？是否有哪些內容可供國內學習？國內是否需要建立調適的組織？</p> <p>(6) 期末報告可參酌國外案例再加強說明國外文獻給國內的啟示，以達到滾動學習的目的。</p>	<p>採用滾動學習的方式，以調整因應之方式，維持調適措施的彈性，已於期末報告補充說明此目的。</p> <p>(4) 調適計畫與國家預算的掛勾在國內一直都是重要課題，可能是因為預算編擬的流程限制，也可能是因為調適的共識尚不足的關係，故認知的提升，如透過教育訓練及如何去反映調適計畫的效益(即回顧的國外的成本效益評估)都是重要的工作，已於期末報告的後續建議(6.2 節)補充說明。</p> <p>(5) ISO14090 為國際標準，國內許多機關亦會申請國際標準認證，故此份文件具國內參考價值，為國內所需之資訊。可參考的內容整理於期末報告 2.7 節。國內在調適組織的建立上則建議可先加強機關內對調適的認知與思維，補充於期末報告 6.2 節。</p> <p>(6) 國外文獻再扣合國內機關之需要，加強說明重要啟示，請詳期末報告 6.2 節。</p>	
<p>3. 建議針對重要的名詞，如調適(adaptation)、減緩(mitigation)等，在報告之初就進行定義與說明，並說明本計畫著重於調適與其包含的範圍。</p>	<p>感謝委員建議。已於報告內容補充名詞定義與說明，並揭示本計畫研究範疇，請詳期末報告書 1.3 節與 1.6 節。</p>	同意
<p>4. 計畫回顧的鐵公路調適趨勢上，如韌性的概念、以自然為本調適、成本效益評估、調適規劃程序等，哪些內容建議設施管理機關參考？建議再說明清楚。是否可以有統一適用於不同運輸系統的調適規劃程序？有另外需注意的地方再列為注意事項。</p>	<p>(1) 本計畫綜理國外文獻之重點供國內各設施管理機關參考，請詳期末報告 2.7 節。</p> <p>(2) 由文獻回顧可知各運輸系統之調適計畫從研擬至落實已形成具共通性的基本程序，本計畫嘗試整理其重點供國內各運輸設施管理機關參考，請詳期末報告書</p>	同意

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
	2.7 節。	
5.調適的新科技應用上提到了 GIS、無人機與數位孿生等，其中數位孿生建議再舉例說明，以利閱讀。此外，建議在期末階段，可再詳細說明單一的科技在不同設施或不同生命週期階段的應用，以及哪些國家有應用，並以表列方式整理。	(1) 本報告「數位孿生」用詞調整為「數位分身」，並舉例說明，以利閱讀，請詳期末報告書 3.3.3 節與 3.3.4 節。 (2) 補列各調適新科技項目之適用情形綜理表，請詳期末報告書 3.4 節。	同意
6.調適風險資訊的 3 個移轉方案為機關各自選擇或採取統一的方案？如是各自選擇，是否有整合的問題？需讓機關瞭解每個方案的優缺點及所需費用。	(1) 風險資訊移轉的目的在於提升過去建置的風險資訊對設施管理機關之實用價值，由於各機關之需求不同，故擬訂 3 方案由機關自行選擇適合的方案進行移轉。 (2) 3 個移轉方案之設計係由簡至繁之包容關係，並非各自獨立關係，故無整合問題。 (3) 各方案之優缺點及所需費用業於今年(109 年)6 月 4 日辦理的「風險資訊移轉說明會」中詳細向機關說明。	同意
劉委員霽		
1.本計畫執行及報告撰寫均相當用心，研究成果對我國各運輸系統主管機關研擬調適策略應有相當助益，合先敘明。	感謝委員肯定。	同意
2.報告書 2-9 頁，有關風險資訊之討論，風險資訊應是考量未來的風險，但卻用過去 102-106 年的歷史災害比對，若比對應是以過去 1 年的災點進行比對，建議未來在滾動調整上可納入參考。在比對上，由坡災危害度中級以上路段與歷史災點之比對占比可知已相當準確。而淹水災點與歷史災害路段比對占比則略低，另該比例與前期計畫比例有差異，爰請檢視數字正確性。同時仍建議檢討歷史災點路段之特性及未能列在風險資訊危害度中以上路段之原因，回饋至風險資訊，俾利進一步滾動檢討。	(1) 本計畫有關風險地圖之陳述係摘述去年研究成果之文獻回顧內容，本年度計畫已無風險地圖更新之工作，合先敘明。 (2) 風險地圖的評估概念是以未來年的氣候情境評估未來年的風險。由於未來年的風險目前無從驗證，故採用歷史災點進行比對，藉以間接支持該成果之可信度。 (3) 107 年成果與 108 年略有差異主因調適計畫於 108 年滾動更新了脆弱度地圖之故(相關說明詳期末報告	同意

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
	書 2-9 至 2-10 頁)。	
3.ISO14090 的內容建議可再進一步瞭解，提供給國內設施管理機關可參考處，並將標準中的概念與國內比對，分析脈絡上是否相符或有所偏離。	回顧 ISO14090 之內容並參考其概念調整運輸系統調適策略，請詳期末報告書 2.3 節與 4.5 節。	同意
4.報告書 3-10 頁，所列鐵公路調適新科技多屬「強化監測及預警」作為，事實上與所謂「調適」略有距離，並非未來的風險上的掌握，亦鮮少在提升系統回復力部分有所著墨，建議後續能在觀念與作為上提出更多參考資料或建言，供各單位參考。	在新科技的蒐集上會發現部分的技術似偏向防災，主因科技的發展都以人的需求為出發點，用於解決既有的問題。但以長期的觀念而言，利用科技所蒐集到的資料可做為規劃設計時的參考，進而發展為調適領域的科技。舉例而言，即時監控、監測的數據經長期持續性累積及分析之後，即成為調適科技的基礎，本計畫於期末報告加強此一觀點的說明。	同意
5.報告書 2-32 頁，FHWA 之報告「以生態為基礎之沿海公路調適」，在內文討論中改以「生態工法」論述，生態工法應有其特殊定義，與以生態為基礎之概念有所差異，建議確認相關用詞之正確性，以免造成誤解。	感謝委員指正。本計畫已修正報告中 Nature-Based 的中文翻譯為「以自然為本的...」，並逐一檢查修訂內文，以免誤解。	同意
6.報告書 2-39 頁，NCHRP 之報告編碼應為 2 而非 1。	感謝委員指正。已修訂報告編碼。	同意
7.報告書 2-66 頁，非常認同研究單位將相關文獻分析之結論彙整供參，建議可進一步評估導入至我國各運輸系統主管機關之可行性及潛在障礙，提供實際的建議供主管機關後續決策之參考。	感謝委員建議。已加強敘述國內機關之需求與國外文獻的重要啟示，請詳期末報告書 2.7 節。	同意
8.本次新冠肺炎疫情已顯著改變人與貨的旅運行為，是否有可能綜合考量並提出氣候變遷與後疫情時代，運輸系統營運所面臨之危機與可能之調適作為？在資源投入的方向上是否需要調整？	新冠肺炎對運輸系統確有衝擊，但其與氣候變遷調適的關係如何，恐是新興議題，目前可資參考的文獻還不多，雖係重要議題然然並不屬於本計畫研究範疇，建議另案研究為宜。	同意

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
陳副總工程司進發		
1.肯定報告內容。	感謝委員肯定。	同意
2.報告書 2.5.1 節針對鐵路系統將韌性的概念納入生命週期的每一決策點，並且有專節說明國外如何提升韌性，相對於 2.5.2 公路系統則偏重於生態基礎，所提沿海公路以生態為基礎的調適較不符合公路管理機關的需求，建議就機關比較需要的調適作為進行國外案例的蒐集，例如為落實目前設施管理機關因應氣候變遷提送行動方案，其中打造韌性公路系統為重要目標。	以自然為本的調適方案是近幾年國外持續在討論的議題，自從歐洲提出「還道於河」的概念後就一直被討論與研究，有許多做法值得國內公路參考，尤其國內存在許多沿著河川興建的公路系統。	同意
3.鐵公路氣候變遷調適新趨勢內容中，肯定將韌性概念融入思維及生命週期，惟建議更具體的說明韌性的概念是什麼？就公路設施管理機關如何來調適因應。另外一個重要趨勢則是生態基礎的調適措施，請加強補充立論依據。	感謝委員建議。已於期末報告加強韌性概念的說明及機關如何調適與因應。以自然為本的調適策略則可參考國外的評估準則後視情況納入執行。	同意
4.在調適的新科技蒐集上，建議從為解決問題而導入新科技應用角度進行整理，且說明效能(以公路總局為例，新科技的導入即是為解決目力所不及之地區之設施脆弱度)，可更加瞭解與評估科技的應用。	感謝委員建議。研究團隊已將新科技的蒐集方向以機關面臨之氣候變遷調適課題之方式重新整理，請詳期末報告書 3.3 節。	同意
5.近期公路總局在評估公路的核心功能，核心功能包含行車安全、資訊的推播等，並有相對應的必要資產(硬體、系統、人員等)。過往一直較著重於硬體，忽略系統與人員。透過羅列重要公路的必要資產並評估是否有備援系統，以評估營運是否會受影響。如無備援系統則研擬相關計畫改善。上述的風險評估會考量三大威脅(天然災害、人為災害與資訊安全等)可能的情境與產生的衝擊，其中天然災害中就有許多是與氣候變遷相關的氣候因子。評估的重點在於使用的情境，過往都以比較短期的情境(如重現期 100 年	遵照辦理。已將 IPCC 第 5 次評估會議 (AR5) 定義未來的 4 種氣候變遷假設情境納入內容並說明其對機關執行調適工作時的參考依據，請詳期末報告書 4.6 節。	同意

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
<p>或 200 年)，但現在新的概念是以 110-115 年水利署中央管流域整體改善與調適計畫-韌性承洪為共同目標，其以 RCP8.5 的情境下(溫室氣體高度排放的情境)，造成連續 3 日超大豪雨或時雨量 100mm/hr 強降雨情境下，水利署需在 1-2 日退水為規劃目標，公路系統需要有相同的標準，故需使用相同的情境。建議團隊將 IPCC 第 5 次評估會議 (AR5)，定義未來(2100 年)變遷的 4 種假設情境(RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 及 RCP8.5)的定義與說明納入報告，因山河橋路為共治的概念，此為未來公路總局 3-5 年的工作。</p>		
<p>6.公路系統是否亦得以引用估算成本與執行調適策略的效益，相信應更能協助設施管理機關在行動方案調適計畫目標更能清處且具體。</p>	<p>研究團隊所回顧的成本效益評估適用於公路系統，可做為未來公路系統在調適行動方案研擬上的依據與參考。計算的參數上可參考「交通建設計畫經濟效益評估手冊」。</p>	<p>同意</p>
<p>7.報告書 3-41 頁(2)巡檢，巡檢區分為直接目視與間接目視，主要應用於邊坡與橋梁居多，與文內重點放在隧道有差異，請再酌。</p>	<p>隧道巡檢的案例蒐集主要係針對鐵路系統，已於期末報告書調整用字及加強說明，避免誤解。</p>	<p>同意</p>
<p>8.報告書 4-12 頁第 7 行…經費不足，致需陳報修正計畫爭取經費…，與原意不符，請刪除該文字。並請於第 4 行起調整為「關鍵設施容受力的提升，未來預計研擬以聯合國因應氣候變遷第 5 次評估會議 RCP8.5 為想定情境下，打造蘇花、中橫、南迴、西快及 12 條東西快等生命線，於極端災害下的韌性防災公路。」</p>	<p>遵照辦理。</p>	<p>同意</p>
<p>9.報告書 4-35 頁第 6 行起…建議執行單位簡要歸納…，其中 4 項有 3 項是要編列充足預算…，因此節重點是在策略 8 運用或研發有助提升復建效率的科技工法與材料，所以對於執行單位而言，應該是在於</p>	<p>感謝委員建議。策略之重點已從新檢討並調整用字。</p>	<p>同意</p>

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
研發、應用與推廣友善環境的建立，以公路總局之推廣應用經驗，機關首長的支持度高，很快的就將制度面建立，請參酌。		
10.在移轉方案上，以設施管理機關的立場，建議以最簡易的方式，並將移轉的用字調整為移轉/回饋。設施管理機關有提供分析的資訊，團隊進行計算後再提供給機關應用，故在用字上使用移轉過於沉重。	考量本計畫工作項目之用字與內容，報告內的用詞擬維持「移轉」二字，但將於期末報告補充說明部分原始資料係來自於各設施管理機關，請詳期末報告書5.2節。	同意
11.有關「鐵公路氣候變遷調適風險資訊移轉」之方案選擇，公路總局應不至於都不採用，會再請同仁帶回討論。	敬悉。	同意
黃副處長偉鳴(電郵意見)		
本報告整理各項調適資料很確實。	感謝委員肯定。	同意
鐵道局		
運輸系統管理機關有提報「調適行動計畫(107-111年)」，此份資料是否會整理到報告中？	108年度的計畫「運輸系統調適策略研究」有回顧運輸設施管理機關提出的「調適行動方案(107-111年)」，主要的目的係做為調適策略滾動檢討的參考，比對調適行動計畫與策略是否都可連結。請參考108年的計畫內容。	同意
高鐵公司		
高鐵公司對於天然災害的影響很敏感，在安全與預防性的養護上很重視，也應用成本效益分析決定養護的優先順序。因高鐵公司為民營單位，故在資金的運用上有所限制。如何在氣候變遷的環境下想得更遠，並把預算花在刀口上是重要的課題。高鐵公司也很期待政府可以制定指導方針與資訊共享的平台供運輸系統管理單位參考。	敬悉。	同意

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
高公局（書面意見）		
1. 本案所提調適策略四大構面 15 項策略，重點為表 4.6-2(參詳報告書 4-48 至 4-53)所述內容，其中「課題」欄位內容較為單薄，建議可與「策略名稱」欄位相為呼應，以補足相互間關聯性；另建議統一用字，如「系統」統一調整為「運輸系統」；另表格下方註明欄位所述建議期程之「無」1-3 年...，應屬「為」之錯字，請修正。	感謝建議。針對課題的欄位團隊會再進行補強，使其與策略相對應。用字與誤植處已再檢視與統一，請詳期末報告書表 4.6-1。	同意
2. 本案報告第二章文獻回顧，建議是否增加國內其他單位(如環保署)有無類似氣候變遷調適研究案，並參考其所採用對應策略。	感謝建議。因本計畫文獻回顧所設定之範疇為國外最新調適策略與調適措施發展趨勢，故未納入國內其他單位之研究文獻，將於報告書中補充說明文獻回顧的範疇。	同意
公路總局		
有關「鐵公路氣候變遷調適風險資訊移轉」之方案選擇，本局會再帶回討論。	敬悉。	同意
運輸研究所（含書面意見）		
1. 依溫室氣體減量及管理法之定義，減緩係指以人為方式減少排量源溫室氣體排放或增加溫室氣體碳匯；氣候變遷調適，在運輸部門係指運輸系統對實際或預期氣候變遷衝擊或其影響之調整，以緩和因氣候變遷所造成之傷害，或利用其有利之情勢。	敬悉。	同意
2. 有關疫情帶來之衝擊，係歸屬於災害防救法中災害種類之一，不屬於極端氣候變遷因素造成，爰不在溫管法之氣候變遷調適範疇。	敬悉。	同意
3. 廖慶隆教授曾表示，調適係為長期性的養生工作，較不屬於短期的因應作為；另許晃雄教授於 109 年 6 月 18 日教育訓練中亦表示，調適是要提出「未來 5 年以後」的行動計畫，應有相關強化韌性之作為，所以調適屬於未來長期性之工作。	敬悉。	同意

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
4.附錄 2.4 的調適策略執行調查表缺少高鐵公司的內容。	期末報告擬再補充。	同意
5.第二章文獻回顧分類上，分成整體調適趨勢、鐵公路氣候變遷調適新趨勢及海空運系統調適趨勢，然而海運及空運蒐集到的文獻皆為調適策略的研擬方法，亦可用於其他運輸系統，因此建議可重新分類。	遵照辦理。	同意
6.在調適策略滾動檢討上，策略文字調整及或補充說明策略內容文字的部分，建議可以製作調整對照表。	策略調整比對表請參見期末報告書表 4.5-2。	同意
7.第三章調適新科技運用趨勢之國外新科技運用案例，過去本所調適研究蒐集的新科技相關案例亦可納入。另有些蒐集到的資料偏向短期防災的監測或巡檢，不宜列入本計畫。	遵照辦理。	同意
8.第三章國內調適新科技蒐集部分，因本計畫係蒐集調適相關之新科技，有些明顯是防災的作法，如 3-14 頁中之車牌辨識系統、人車受困偵測等，不列入本計畫。	遵照辦理。	同意
9.第四章風險資訊移轉規劃部分，除了規劃方案外，針對各單位較關心之目前移轉的風險資訊還可以使用多久，未來何時需再更新等問題，亦請於期末報告中補充說明。	遵照辦理。已補充說明風險資訊的限制與未來更新(AR6 的情境出版與國內降尺度後)需注意的事項等，請詳期末報告書 5.3 節。	同意
10.有關報告錯別字勘誤，本所將另提供報告供參，亦請研究團隊全文再行檢視修正。	遵照辦理。	同意
主席結論		
1.在本計畫的文獻回顧與新科技的蒐集上，將國內可應用處再加以分析與說明，例如新科技的應用上是否有經費的限制？是否需要從國外引入技術？需要多久的期程方能完成等。針對實際國內可應用的新科技提出建議。	遵照辦理。已進一步分析與說明新科技應用於國內鐵公路的可能性，並提出建議，請詳期末報告書 3.4 節。	同意

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
2. 風險資訊移轉案，後續將以公文方式函請設施管理機關確認選擇之方案，目前蒐集到的資訊為高鐵公司選擇方案二，除了公路總局外，其他機關皆選擇方案一。選擇方案二的高鐵公司會再由團隊人員辦理教育訓練。	遵照辦理。團隊已於期末階段配合機關回文情形完成辦理教育訓練與移轉協助工作，請詳期末報告書 5.3 節。	同意
3. 期中報告審查修正後通過，請研究團隊將與會委員及機關代表意見，於收到會議紀錄後 1 週內製作意見回覆表並送本所承辦單位，以做為後續報告修正之依據。	遵照辦理。	同意

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：運輸系統因應氣候變遷調適之研究

執行單位：鼎漢國際工程顧問股份有限公司

會議日期：109 年 12 月 15 日（星期二）

會議地點：交通部運輸研究所 5 樓會議室

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
高鐵公司		
<p>1. 報告書的訪談紀錄附 4-5 頁第 14 點，「...其中發現烏日機廠位於高潛勢的淹水區域（24 小時的 500 毫米）...（如將列車吊離）。」段落中有部分別字（如部「屬」及「吊」離等）或較不精確之文字。建議修正如下：「其中烏日基地位於高潛勢淹水區域。經初步研究，該基地及周邊河川局堤防等相關設施之高程應可達重現期 200 年洪水不溢堤之程度，惟基地外周邊環境仍會淹水（重現期 200 年之雨量已遠大於一般排水系統之規格），符合原設計考量；因此，針對極端狀況在策略上宜以「避災」為原則，以超前部署措施因應（例如預測 24 小時雨量達 500 毫米時預先調離列車等。）</p>	<p>感謝建議，已修改文字。</p>	<p>同意</p>
<p>2. 近年越來越多極端氣候之異常事件，水利署從 2010 年開始已有累積許多計畫與其成果，建議未來如持續執行調適計畫，可以積極與其聯繫與互惠共享資料。</p>	<p>感謝建議，已列入後續調適工作推動建議事項，詳期末修正報告 6.2 節。</p>	<p>同意</p>

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
高公局		
1.本局氣候變遷風險資訊的移轉選擇方案一，因本局自 99 年開始就有陸續建置管理系統，102 年建立邊坡資訊管理系統，並陸續發展鋪面、隧道等管理系統。目前在建置防救災管理系統，可將上述的設施管理系統納入氣候變遷風險資訊，也結合氣象局的資料辨別易淹水路段，是相對完整的系統。建議報告書 5-19 頁一併就上述說明補充。	感謝提供資訊，已補充於報告 5-19 頁說明。	同意
2.本局未來會針對南部的 4 座易淹水橋梁做抬升；中寮隧道與田寮 3 號橋也因坐落在斷層上而有風險，透過 UAV(Unmanned Aerial Vehicle) 測量掌握狀態，並進行改善。	敬悉。	同意
3.感謝研究團隊研擬的四大策略，15 項措施，本局未來會就策略內容思考是否有可推動之調適工作。	敬悉。	同意
公路總局		
本局無意見。	敬悉。	同意
航港局		
1.有關海運系列相關調適行動計畫，未列於報告書內：如港務公司於 107-111 年辦理「各國際及國內商港港灣構造物維護管理計畫」、「維生碼頭規劃可行性評估(含維生碼頭改建工程)及「既有碼頭檢測即改建評估計畫(含老舊碼頭改建工程)」。	因調適為一系列研究，海運之調適行動計畫於 108 年計畫(計畫名:運輸系統調適策略研究)已進行回顧，故今年度無再回顧海運之調適行動計畫。	同意
2.附錄 3 訪談紀錄有桃機公司、公路總局及台灣高鐵公司，建議增加港務公司之訪談。	感謝建議。因調適為一系列研究，107 年計畫前往民航局、桃園機場公司、航港局、臺灣港務公司等機關訪談。本計畫辦理過程中的所有會議也邀請上述機關提供建議與看法。	同意
鐵道局		
本局無意見。	敬悉。	同意

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
民航局		
本局無意見。	敬悉。	同意
航政司		
1.鑑於本計畫研究工作項目及範圍，除調適策略部分涉及海空運輸外，其餘內容多以鐵公路運輸為主（如鐵公路系統調適新科技運用趨勢、「鐵公路調適資訊平台」應用移轉等），考量海空運輸設施易受強風、強降雨、高溫等極端氣候影響其正常營運，亦有因應氣候變遷辦理調適作為之需求，爰建議爾後比照鐵公路運輸系統，研究建置海空運輸設之氣候變遷風險評估及調適資訊平台，俾供海空運設施管理單位參用。	運研所於今年透過自辦研究案蒐集國內海空運系統辦理風險評估可使用之圖資與數據。建議海空運設施管理機關（構）可以此研究成果為基礎發展風險評估方法，相關研究建議詳修正報告 6.2 節。	同意
2.有關計畫 4.4 設施管理機關（構）意見彙整一節，就海、空運輸，尚僅訪談桃園機場公司，爾後如有類似案件，建議將民航局、航港局、臺灣港務公司併同納入，以茲完整。	感謝建議。因調適為一系列研究，107 年計畫前往民航局、桃園機場公司、航港局、臺灣港務公司等機關訪談。本計畫辦理過程中的所有會議也邀請上述機關提供建議與看法。	同意
3.有關計畫 4.6 調整後調適策略之策略一、提升氣候衝擊耐受度部分，考量現有公共建設難以透由硬體改善或備援軟體有效提高其氣候衝擊耐受度，爰建議針對未來相關公共建設之規劃及設計，可洽商內政部建築研究所及行政院公共工程委員會等單位，就氣候變遷調適需求及各類運輸系統之公共建設屬性，加以研議制定未來公共建設之規劃設計因應標準，以符實需。	措施 1-1 建立設施安全性與風險評估方法、風險基準並定期評估即是先就設施的風險進行盤點，再進一步以措施 1-2 檢討並將氣候調適概念納入規劃、設計、施工與養護相關規範與作業程序，設施管理機關可就其系統特性與需求，以及其可運用之資源，設定規劃設計之標準。	同意
路政司		
1.後續推動建議提到調適應與國家預算掛勾，如何以現有的公務預算推動調適策略？	建議需政府政策方向的介入與領導，推動調適預算研擬的法源依據並落實調適主流化，以爭取足夠資金推動調適相關工作，詳期末修正報告 6.2 節。	同意

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
2. 未來發生複合性災害的機率增加，設施管理機關（構）間的防備也需溝通與協調，建議此計畫未來可與相關單位做調適與防災能力整合的計畫交流。	感謝建議，已列入後續調適工作推動建議事項，詳期末修正報告書 6.2 節	同意
3. 報告書 4-38 頁，其中措施 3-1、4-3 提出的措施重點的主辦機關為交通部，是否有與交通部進行協商與研議？	因本計畫的定位為運輸系統調適策略研議的輔助文件，本計畫建議之主、協辦對象係依參考機關（構）權責與調適作為建議，機關（構）需再視運輸系統特性與可投入之資源規劃調適行動。	同意
廖教授慶隆		
1. 歷次會議提出之意見，本計畫團隊皆有完整回覆或調整，值得肯定。	感謝委員肯定。	同意
2. 數位分身現階段分為 5 級，等級 1 為建立資料庫(real database)，蒐集方法建議可納入鼓勵民間合作上傳之方式快速累積資料量；等級 2 為建立感測器，透過感測器即時蒐集資料；等級 3 為具備建立預測模型的能力；而等級 4 為建立有自動學習能力與智慧判斷能力的系統，而不需將「大數據」與「AI」分為兩種等級，建議合併為等級 4；等級 5 則建議增加為全面數據視覺化，讓等級 1—4 之資料與模型能完整充分呈現給使用者。	感謝委員建議，已修改等級，詳見期末報告修正定稿版 3.3.3 節。	同意
3. 關於氣候變遷風險資訊移轉工作，系統移轉是非容易的事，建議可讓本系統做為各單位的備援系統，逐步與各單位原本建置使用的系統進行整合應用，以避免為了符合移轉系統的績效成果，而導致雙方移轉與探討應用的時間太緊迫。	平台網站目前已可供各單位查詢使用，且平台網站功能主要為風險圖資查詢，在平台移轉方案中，各單位多有包含 GIS 圖台功能之風險管控平台，因此可於自有圖台上快速套疊，不須修改太多程式，此外各單位均已取得風險原始圖資，亦可透過免費 GIS 軟體如 QGIS 等，自行檢視圖資與評估風險。	同意

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
4. 建議後續研究可深入探討風險管理，並將氣候變遷風險等級分出細項，劃分各氣候變遷風險等級之內容與分類，以利後續調適策略可進行保留風險的措施，避免資源投入無法控管。	感謝委員建議，已納入後續調適推動工作建議，詳見期末修正報告書 6.2 節。	同意
5. 交通部內之很多運輸系統設施的風險項目是共同的，如橋與路等設施，如高速公路的橋、鐵路的橋、縣道鄉道的橋，都是橋梁設施，所以橋可歸為一主要類型的設施並進行氣候變遷風險項目探討，道路是另一類型的固定設施，其可承受的風險類型與程度不同，另一個很少提到卻很重要的是交通系統之機電設備風險評估項目，建議未來可加以探討。	感謝委員建議，已納入後續調適推動工作建議，詳見期末修正報告書 6.2 節。	同意
6. 建議災害類型增加「都市洪水」項目，都市內太高比例的人造不透水面會導致都市洪水的嚴重性與影響程度提高，排水系統的不堪負荷會導致都市交通受到重大的影響。	感謝委員建議，因本研究專注於因氣候變遷而變得頻繁、強度增加、特性改變之極端天氣/氣候事件，都市洪水已於經濟部的「水災災害防救業務計畫」與其他相關計畫中探討，故不納入調適計畫之研究範疇。	同意
7. 數位化為重要的工作，數位分身在各設施管理機關（構）的應用上如何？到哪個等級，例如高公局與公路總局可能有做到等級一，建議盤點各設施管理機關（構）於氣候變遷下做的數位分身與等級，以利決策未來的發展。	感謝委員建議，已納入後續研究建議辦理，詳見期末修正報告書 6.2 節。	同意
8. 臺鐵因無替代路線的運輸特性，所以脆弱度高，公路因有替代路線，故脆弱度較低，建議未來以風險管理的角度再去探討鐵公路系統的特性。	感謝委員建議，已納入後續研究建議辦理，詳見期末修正報告書 6.2 節。	同意
馮教授正民		
1. 研究單位已按照工作需求完成，內容也很完整，提供幾點建議。	感謝委員肯定。	同意

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
2.簡報52頁提到的氣候變遷風險資訊移轉內容，建議在研究範疇說明清楚，因各單位皆表示其已有更精細的平台資料，但本研究的風險評估所使用之資料不同，且更新頻率為1年1次，設施管理機關（構）的平台資料則為即時的蒐集與更新。風險地圖的資訊較適合於規劃設計時使用。	敬表同意。	同意
3.本計畫的風險評估所考量的因子為脆弱度與危害度，脆弱度例如交通量與產值，但設施管理機關（構）不會將交通量做為脆弱度的潛在影響因子。風險地圖想瞭解與掌握的資訊也與設施管理機關（構）在營運上所需的資料較有不同。此套評估方法讓設施管理機關（構）在做工程選線時可運用，另外可用於工程設計，並做規範的調整。建議第一章先說明這套風險評估誰適合用、什麼時候用、用在哪裡，說明範疇與應用價值。未來也可用在預算審議上，規劃設計時需把風險成本納入。此系統也可做為維護管理的輔助資料。	感謝委員建議，已補充風險地圖之研究範疇與適用對象，詳見期末修正報告 1.3 節。	同意
4.運研所將氣候變遷風險資訊移轉給鐵路設施管理機關（構）後，未來調適平台是否持續維運？如長期維運，交通量、產值等社會經濟資料需持續蒐集外，設施管理機關（構）的資料也需提供，如各單位都願意提供資料，則維運成本較低。建議可分析資料永續經營的成本。	調適平台於本期計畫驗收後尚有1年期之基本維運保固，而後續風險資訊仍可透過單機版系統進行查詢與套疊。未來本風險地圖評估指標之除來源資料有大幅度變動外，建議不需頻繁進行風險地圖更新。	同意
5.科技應用上有提出注意事項，其中提到資料庫的蒐集需長期的累積，新科技之應用需資料做輔助，但資料由誰蒐集，建議可補充說明。	感謝委員建議，已補充說明資料蒐集的建議單位，請詳期末修正報告書 3.5 節。	同意
6.目前各單位推動執行措施的狀況如何？每項措施中皆有列出建議的執行單位，分為交通部與設施管理機關（構），但交通部是由哪個單位	感謝委員建議，已再釐清各項措施的建議主、協辦單位，並列出執行的期程，詳見期末修正報告書 4.6 節與表 4.6-1。	同意

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
執行並無明述，建議是否釐清？以利推動。另外各項措施的執行期程（短、中、長期）與主、協辦單位也建議列出。		
張教授家瑞		
1. 期末報告整理許多訪談、會議的紀錄，也整理很多文獻，在國內調適的課題上應是很完整的參考資料，給予肯定。	感謝委員肯定。	同意
2. 結論與建議針對大方向的发展都有勾勒，可提供從事相關研究與產業的人員做參考，因過往調適、防災、回復、韌性等定義較模糊。	感謝委員肯定。	同意
3. 9月29日參加專家學者座談會時有提到以生命週期的概念探討，研究團隊也參考此意見做調整。因對於使用端，各設施的生命週期階段應注意的事項為重點。以鋪面為例，從最初的地質掌握、選線等，設計的初設、細設，如何選擇設計理念，以及與國際接軌等，減少設計問題等；工程上也有工程工法的問題。這些課題的大方向在報告中都有勾勒出來。	敬悉。	同意
4. 本計畫研擬的四大策略與15項措施，未來可否以此架構延伸出在海空運與鐵公路的系統下如何推動各項措施，是否有相關的評估準則或指標可以瞭解各項措施在各領域推動的狀況。這些措施在各生命週期的執行，以15項措施、生命週期與各領域製作一個矩陣供設施管理機關（構）參考。	感謝委員建議，已納入後續機關推動調適工作建議辦理，詳見期末修正報告書6.2節。	同意
5. 本計畫調適位階為中央主管機關，若以縣市政府的位階如何去因應或研擬調適策略，未來也可做為一項思考議題。	本計畫之調適策略係依據溫管法《第13條》之規定研擬，對象為中央目的事業主管機關。縣市政府之調適可參考國發會於107年公布的「地方氣候變遷調適計畫規劃作業指導」。	同意

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
6. 氣候變遷風險資訊的資料更新頻率，如何因應不同的生命週期需求更新資料?另外，縣市政府也會需要此資料，是否會提供?資料庫建議可保留運研所的 logo，讓應用之設施管理機關（構）知道此資料來自運研所。	(1) 風險地圖過往更新頻率為 1 年 1 次，建議風險地圖評估指標之除來源資料有大幅度變動外，不需頻繁進行風險地圖更新。 (2) 風險地圖範疇為臺鐵、高鐵、國道、快速公路、省道為主，以提供各設施單位參考為主要目的，並不包含縣市政府管理之交通系統。 (3) 後續可於資料說明文件加註資料為交通部運輸研究所產製。	同意
陳委員文瑞(含書面意見)		
1. 四大策略、15 項措施，已有綜整成果表，惟措施重點仍不夠具體，建議再細緻，俾供機關（構）實務參考。	因本計畫研擬之調適策略定位為大方向的指導原則，而非作業指南，機關後續建議的調適推動事項已列在 6.2 節建議。	同意
2. 將氣候變遷變遷調適概念納入規劃、設計、施工及養護相關規範與作業程序，建議納入機關個案檢討，如南方澳斷橋、臺鐵邊坡滑動、斷軌等，以供檢討實務學習。	感謝委員建議，個案檢討建議由設施管理機關（構）就其風險特性探討需檢討之規劃、設計、施工及養護相關規範與作業程序。	同意
3. 建置之移轉方案，各機關幾乎皆選擇方案一，則研究成果完整移轉之方案三無法採用，恐喪失研究移轉之目的。	本項工作意旨在於協助各鐵路設施管理機關針對其管有設施進行風險管理，將風險評估之計算方式或圖資移轉給機關參考與應用，而非將平台移轉至特定機關維護。故因應機關特性與需求，提供 3 種移轉方案，方案一與方案二為風險圖資與評估方式的移轉，而方案三則提供沒有既有平台的單位快速使用風險圖資網站工具，惟各單位多已有風控平台，故僅需選擇方案一或二即可快速檢視風險評估資訊。	同意
4. 本計畫延續前幾年之研究成果，希提供設施管理機關進一步研擬具體調適計畫之方案，建議參考鐵路機關意見，針對其需求，彙整更具體之研究成果。	因本計畫研擬之調適策略定位為大方向的指導原則，而非作業指南，機關後續建議的調適推動事項已列在 6.2 節建議。	同意

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
5. 措施 2-1, 建議氣象局加強相關氣象資訊之提供, 及設施管理機關結合氣象局資訊等, 目前設施機關都有此措施, 但要加強什麼? 應具體建議。	因本計畫研擬之調適策略定位為大方向的指導原則, 而非作業指南。機關後續建議的調適推動事項已列在 6.2 節建議。	同意
6. 104 年《溫管法》發佈後, 各重要系統可行性研究與環評, 因應氣候變更調適需要調整哪些工作項目、表單或方向?	因本計畫研擬之調適策略定位為大方向的指導原則, 而非作業指南。機關後續建議的調適推動事項已列在 6.2 節建議。	同意
7. 災例的學習很重要, 所以國內外多年來, 因應氣候變遷的致災而修改規範的案例, 研究團隊能否提出從災例中可學習的建議, 請補充說明。	感謝委員建議, 個案災例檢討建議由設施管理機關(構)就其風險特性探討需檢討之規劃、設計、施工及養護相關規範與作業程序。	同意
8. 建立的平台目的與範圍與設施管理機關(構)不同, 提供的資料是互補的, 可以給他們系統加更多的功能, 所以可能要去說服部屬機關(構)及檢視他們系統, 比較出可以提供更多的好處等, 因此也要有鐵公路相關的手冊及養護的指引, 提出弱點、缺失與具體建議。	各機關內部平台多為短期監控與防災使用, 本計畫研擬之調適策略定位為大方向的指導原則, 而非作業指南, 主要提供大尺度與長期之規劃參考, 相關圖資已提供各機關使用, 供各機關按照相關業務與需要, 套用圖資進行長期規劃參考。	同意
9. 表 4.6-1, 提到氣象局要加強氣象資訊的提供, 已有在執行。其實氣象局應是氣候變遷調適重要資訊的提供者, 而大家在使用資訊上到底希望跟氣象局做怎樣的整合, 或資訊有什麼不足處, 此部分能再加強。	感謝委員建議, 已納入後續研究建議辦理, 詳見期末修正報告書 6.2 節。	同意
10. 研究團隊對各設施管理機關(構)辦理了很多場的專家學者座談會, 若能與鐵、公路防災的主管討論, 收獲可能會不一樣。建議未來若有跨設施管理機關(構)的座談, 建議運研所可協助研究單位去約相關主管, 或許可以討論得更豐富。	感謝委員建議, 敬表同意。	同意
11. 運輸系統氣候變遷調適研究已累積好幾年, 提出了四大策略, 但都類似減災的功能, 但《溫管法》主軸還有減碳, 建議將來二者整合, 在規劃設計階段就可以注意如何減災、減碳。	感謝委員建議。因本計畫係因應《溫管法》第 13 條規定, 研議調適策略, 故專注於調適作為。	同意

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
許委員晃雄(書面意見)		
1.報告 2.5 節回顧多份歐美報告，整理得很好，是否有亞洲(如日韓)報告可以參考，地緣、環境與災害與臺灣較為類似。	感謝委員建議。因調適系列計畫執行多年，每年均會針對最新之文獻進行蒐集與回顧，過往計畫即有回顧新加坡、香港、日本、澳洲等地區之調適報告與作為。	同意
2.散見各章節“極端氣候事件”一詞宜改為“極端天氣事件”為宜，所提現象除海平面上升，期他都屬天氣現象。	感謝委員建議，已檢視各章節並修改用字。	同意
3.報告 2.1 節 2-55 頁，湧浪是否改為(颱風)暴潮較為恰當。	感謝委員建議，已修改用字。	同意
4.報告 3.2 節所整理的調適新科技運用概況多與因應氣候衝擊的調適方案無關，可以嘗試提出因應氣候變遷衝擊的不足之處。	目前國內機關在新科技應用上可發現多數的目的為防減災與營運效能提升，但技術做應用上的轉換即可用於調適，補充說明於期末修正報告 3.2 節。	同意
5.表 4.6-1 整理得很好，列出明確的調適措施。調適課題建議不要以問具呈現，而是以明確的語句標示，比如：“如何掌握氣候事件衝擊的程度?改為“確切掌握極端天氣事件的衝擊”。	感謝委員建議，已修改用字。	同意
6.第六章提出明確的建議，可以考慮製作幾張簡單易懂的示意圖，分三個面向呈現，如挑戰、問題與建議方案。這項建議也可用在各適用的章節。	感謝委員建議，已將建議製作為圖，詳期末修正報告 6.2 節。	同意
7.氣候變遷調適方案的規劃，需要有明確的氣候變遷衝擊資料，建議可以盤點所需的氣候變遷資訊，評估目前的氣候變遷推估資料是否足以用來規劃運輸系統調適策略。如有不足，還有那些急迫需要的資料，建議國家相關單位予以重視。	感謝建議，已列入後續調適研究議題建議，詳期末修正報告 6.2 節。	同意
陳副總工程司進發(書面意見)		
1.6.1 結論 1.(1)調適預算與資金需與國內預算掛勾，其中掛勾字眼不妥，建議修改為“調適預算與資金需於國內部會中長期預算籌編”。	感謝委員建議，已修改文字。	同意

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
2. 報告書第 6-3 頁，3.(1) 韌性鐵公路... 在規劃階段給予足夠的資源與重視，避免受到氣候事件傷害後的復健成本。建議調整為... 在規劃階段給予足夠的資源與重視，避免爾後營運階段收到氣候事件傷害後的復健成本一直輪迴增加。	感謝委員建議，已修改文字。	同意
3. 本研究報告嚴謹、且完整具參考性，同意修正後通過。	感謝委員肯定。	同意
林所長繼國		
1. 氣候變遷風險資訊的移轉係希望協助鐵公路設施管理機關（構）應用本所研究成果，移轉工作經過溝通，設施管理機關（構）也已選取所需的移轉方案。提醒鐵公路設施管理機關（構）後續將氣候變遷風險資訊納入系統時，建議儘量涵括完整平台資料，以掌握氣候變遷風險。後續如設施管理機關（構）尚有需要氣候變遷風險資訊，本所跟研究團隊會再提供協助。	敬悉。	同意
2. 本所氣候變遷風險評估淹水潛勢及坡災潛勢使用的資料來自水利署與地調所，再將氣候變遷情境資料以風險評估方法計算與加值，以利相關設施管理機關（構）應用。移轉給設施管理機關（構）後，設施管理機關（構）需自行更新資料，本所也有輔導鐵公路設施管理機關（構）如何介接與更新資料，以進行風險評估與分析的工作。	敬悉。	同意
3. 公路總局採用本所氣候變遷風險評估資訊，針對中高級風險路段進行省道改善計畫之實際案例，符合國際上重要的調適概念，氣候變遷調適觀念要連結到施政計畫與預算，公路總局的具體作為可提供其他設施管理機關（構）參考與借鏡。	敬悉。	同意
4. 因為本計畫滾動檢討的過程，會蒐集國際調適新發展的資訊，利用設施管理機關（構）訪談的機會，一	敬悉。	同意

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
<p>方面讓設施管理機關（構）了解調適最新的國際發展，另一方面了解設施管理機關（構）在調適工作上的需求，或是有何設施管理機關（構）的調適作為可納入本研究參考。因此，訪談為雙向的互動，爾後應有更完整性、全面性的訪談安排。</p>		
<p>5.因海、空運涉及國際運輸工作，是否有相關的國際組織，如 ICAO 針對氣候變遷調適研擬相關的規範與推動工作？研究團隊是否有蒐集相關資料？請補充說明。</p>	<p>因調適為一系列研究，海空運的國際組織規劃已於過往計畫回顧，今年度回顧的國際組織為 PIANC 的海運調適規劃手冊，詳期末修正報告 2.6.1 節。</p>	<p>同意</p>
<p>6.各運輸系統因特性不同，在風險評估方法上也有差異。因本計畫為運輸系統調適，建議還是完整做呈現。</p>	<p>運研所於今年透過自辦研究案蒐集國內海空運系統辦理風險評估可使用之圖資與數據。建議海空運設施管理機關可以此研究成果為基礎發展風險評估方法，相關研究建議詳修正報告 6.2 節。</p>	<p>同意</p>
<p>7.一些運輸場站、建築或是公共工程的建設計畫，其規劃設計部分，有些是交通主管機關有自己相關的設計規範標準，但有些是涉及全國建築管理機關或公共工程管理機關的整體性規範標準，本計畫是否有對應考量的調適上位策略或措施？請補充說明。</p>	<p>措施 1-1 建立設施安全性與風險評估方法、風險基準並定期評估即是先盤點設施的風險，再進一步以措施 1-2 檢討並將氣候調適概念納入規劃、設計、施工與養護相關規範與作業程序，設施管理機關可就其系統特性與需求，以及其可運用之資源，設定規劃設計之標準。</p>	<p>同意</p>
<p>8.請研究團隊再檢視調適策略與措施，對通案性、共通性、整體性的部分可提出建議，讓上位策略能提供指引的功能，俾利相關部會主管機關（構）可以配合思考。</p>	<p>以再檢視調適策略與措施，詳期末修正報告 4.6 節。</p>	<p>同意</p>
<p>9.研究團隊在措施中提到資料庫以交通部的資訊管理中心做交換，是否有與其接洽？請補充說明。</p>	<p>過往有將風險圖資提供給交通部資訊管理中心做介接服務。</p>	<p>同意</p>
<p>10.請主辦單位洽研究團隊了解平台的維護成本，及與設施管理機關（構）研商是否仍有平台使用需求，另外也要考量本所是否具備平台維</p>	<p>感謝建議，已列入後續調適研究議題建議，詳期末修正報告 6.2 節。</p>	<p>同意</p>

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
運所需投入的資源。請研究團隊就此課題在成果定稿報告中提供建議。		
11.關於數位分身發展之盤點工作可納入後續研究建議，因資料庫為重要的基礎，故應優先進行盤點，方能指引設施管理機關（構）後續的相關作為。	感謝建議，已列入後續調適研究議題建議，詳期末修正報告 6.2 節。	同意
12.交通部在《2020 年運輸政策白皮書》的行動方案即列出主、協辦單位，以利後續推動，並將建設計畫與政策白皮書的行動方案連結，以凸顯必要性。本計畫目前各項調適措施也有將辦理單位列出，但政策白皮書的主、協辦單位有經過協調過程，如本計畫時間允許，建議先跟相關單位協調。	本計畫研議的調適策略已透過機關訪談、專家學者座談會與教育訓練等會議與相關機關溝通策略內容。因本策略屬於大方向指導位階之建議，設施管理機關可在就其資源規劃與決策推動之調適工作。	同意
13.關於後續如何去評估設施管理機關（構）在推動措施上的執行狀況，是否能建立檢核評估的機制，可做為指引調適工作的參考，指引設施管理機關（構）執行調適措施，請研究團隊研議納入後續研究建議。	感謝建議，已列入後續調適研究議題建議，詳期末修正報告 6.2 節。	同意
14.未來計畫執行時應廣邀如氣象局、地調所、水利署等相關單位。	敬悉。	同意
15.座談會的參與人員未來於規劃時原則上應先列出名單並進行邀請，再訂下會議時間。	敬悉。	同意
16.未來的調適如何落實需要許多配套機制，如規範調整、預算編列等，需先進行全生命週期的盤點，盤點各設施管理機關（構）於生命週期的作為，以辨識在措施執行上有哪些不足的部分，以明確化具體的行動方案。是否可以結合設計自評表做為後續的研究，請研究團隊列入建議。	感謝建議，已列入後續調適研究議題建議，詳期末修正報告 6.2 節。	同意
17.如平台要繼續存續，需建置平台資料更新的機制。未來是否可建立資料介接更新之自動化機制應先加以探討。	感謝建議，已列入後續調適研究議題建議，詳期末修正報告 6.2 節。	同意

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
綜合技術組（回應及書面意見）		
1.因溫管法規定中央目的事業主管機關需訂定調適策略，故本所於 107 年已有一版調適策略，每年滾動檢討。因 2019 年 ISO14090 出版，故今年度策略有較大幅度調整，調整後為四大策略與 15 項措施，與行動方案的用詞一致，並做調適架構的歸納與補充。	敬悉。	同意
2.氣候變遷風險資訊移轉共有 3 個方案，多數設施管理機關（構）選擇方案一的圖資移轉方式係因設施管理機關（構）有原本的管理資訊系統(如臺鐵局、高公局、公路總局等)，以方案一的方式將資料納入既有系統可做強化及應用。鐵道局則是因其業務未負責營運，故選擇方案一。	敬悉。	同意
3.關於航政司的第 1 點意見，兩年前就有類似意見，本所也相當重視，考量海空運場站屬於點狀分布，與鐵路系統呈網狀分布有別，所以海空運管理機關（構）可依場站地理位置，運用政府部門研究成果，依該「點」之氣候變遷調適分析資訊進行調適規劃。爰本所於 108 年以自辦計畫蒐集 10 個國內氣候變遷調適分析資訊來源及取得方式，已於 109.11.11 辦理教育訓練，提供國內海空運管理機關（構）參考。此外，美國及英國係由管理單位委託專業機構進行客製化之氣候變遷風險評估及調適規劃，國內桃機公司亦已委託專業團隊進行氣候變遷調適研議，建議國內海空運管理機關（構）可比照桃機公司作法辦理。	敬悉。	同意
4.未來在平台維護上，就過往經驗可發現危害度的改變對風險值的變動較大，而脆弱度的變動幅度則小，故本所不會每年均進行風險地圖更新，俟水利署或地調所有更新的淹	敬悉。	同意

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
<p>水或坡災潛勢資料，或 IPCC 對風險評估方法有重大改變，方做重新檢討與更新。建議設施管理機關（構）應掌握風險等級較高的路段並進行細部評估。</p>		
<p>5. 針對報告書之書面審查意見如下：</p> <p>(1) P2-39 回顧 FHWA 發布以自然為本的解決方案，以提升海岸公路韌性，並於 P2-73 建議以自然為本的新建、改建與調適作為，請進一步說清楚「以自然為本」的意涵。</p> <p>(2) 調適作為係因應未來氣候變遷衝擊之行動，4.4 節之各機關訪談內容整理應以「調適作為」為題即可，請參酌修正。</p> <p>(3) P4-20 圖 4.5.3 及 P4-44 說明調適措施 4-5 在培育調適專業「人力」，與內文強調「人才」培育有別，請檢視修正。</p> <p>(4) P4-20~P4-22 之表 4.5-2，第一欄位與第三欄位表頭之「本計畫」請以「109 年計畫」表示為宜。</p> <p>(5) P4-32 之 4.6.1 節、P4-38 之 4.6.3 節重點簡要歸納及 P4-48~P4-52 之表 4.6-1 措施重點主詞應為設施管理機關（構），請確認。</p> <p>(6) 「數位學生」調整為「數位分身」以利閱讀，但於報告內多處(P3-21、P3-23、P3-26、P 附 5-9、P 附 5-10、P 附 5-11 及於風險平台刊登之文章)用詞仍為數位學生，請再檢視更正，避免混淆。</p> <p>(7) 首次出現之英文名詞縮寫應加註全名，如 P2-8 之 LoRa、P3-3 人工智慧 (AI)、VR 等，請</p>	<p>(1) 已修正，詳期末修正報告 2-38 頁。</p> <p>(2) 已修正內容。</p> <p>(3) 已修正內容。</p> <p>(4) 已修正為 109 年計畫。</p> <p>(5) 已全面檢視並修正為「設施管理機關（構）」。</p> <p>(6) 已全面檢視並修正為「數位分身」。</p> <p>(7) 已全面檢視加註英文名詞全名。</p>	<p>同意</p>

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
<p>再全文檢視更正。</p> <p>(8) P3-35 之 3.4 節 第二段「國內鐵公路管理機關多應用科技於營運管理作為…」，但本計畫辦理專家座談會紀錄顯示有興建階段建立施工用數位模型，於竣工後轉換為維護用數位模型案例 (P 附 4-35)，請依專家座談會資訊調修正相關說明。</p> <p>(9) P4-21 於策略措施說明「巡檢」為非氣候變遷環下就需執行之養護工作，P3-35~P3-40 有多處科技應用敘及「巡檢」作業，請於 3.4 節檢視整理新科技應用於調適上之特性及應用建議。</p> <p>(10)建議可在報告書中補充從辦理專家學者座談會獲得的重要結論，並將合適之專家意見歸整納入報告相關內容。</p> <p>(11)經本所抽測 P5-22~P5-23 之表 5.4-1 中防減災及氣候變遷調適教育資訊網與全國氣候變遷全民會議資訊平台連結已失效，請再檢視更新該表網址，並請註明連結調查時間。</p> <p>(12)P5-28 之表 5.4-4 標題多一個數字「5」，請刪除。</p> <p>(13)P5-28~P5-29 壓力檢測採用的壓力測試工具名稱應為「JMeter」，請修正。</p>	<p>(8)已修正相關說明。</p> <p>(9)目前國內機關在新科技應用上可發現多數的目的為防減災與營運效能提升，但技術做應用上的轉換即可用於調適，補充說明於期末修正報告 3.2 節。</p> <p>(10)已將專家學者座談會蒐集之專家意見歸納於報告，詳期末修正報告 3.4.2 節與 4.6 節。</p> <p>(11)已更新連結並註記連結調查時間</p> <p>(12)已修正。</p> <p>(13)已修正。</p>	
主席結論		
<p>1.感謝所有審查委員與相關單位於本計畫執行過程中的積極參與和給予許多協助，及審查委員今日提供之指導意見，同時感謝鼎漢公司研究團隊充分配主辦單位的要求，以完成整個計畫的預定工作。</p>	<p>敬悉。</p>	<p>同意</p>

參與審查人員及其所提之意見	執行單位回覆及處理情形	本所審查意見
2. 審查委員與相關單位提出的口頭或書面意見，請研究團隊加以整理，並以列表方式逐項回應與說明意見處理情形，如果屬於本計畫契約範疇，請據以納入期末報告的補充跟修訂。	遵照辦理。	同意
3. 本次審查委員提出的部分意見，經會議過程中進行討論，並做出初步處理原則之意見，這些意見請研究團隊與主辦單位進一步研商後，納入報告書的修訂，或是做為後續研究工作的建議。	遵照辦理。	同意
4. 本期末報告經與會審查委員同意修正後通過，請研究單位於 109 年 12 月 22 日(星期二)前將修正報告送達本所，俾利本所依契約規定辦理後續相關工作事項。	遵照辦理。	同意

附錄 3

成果發表與報導文章

成果發表與報導文章

3.1 成果發表

本計畫成果投稿於國內研討會「中華民國運輸學會 2020 年會暨學術論文國際研討會（109 年 12 月 3~4 日），投稿題目為：「應用科技輔助鐵公路系統管理氣候變遷風險之探討」。該研討會的主題為：「智慧、永續，人本的交通運輸」。以智慧、永續與人本為運輸未來發展的目標，期待一個結合人性化與綠色交通的運輸環境，提供安全，舒適與健康的生活，議題包含公路運輸、軌道運輸、海運經營管理、航空運輸、綠色運輸、物流管理等，以及新興課題如智慧運輸、智慧物流等。

1. 國內研討會發表文章摘要

具韌性的鐵公路系統對社會、經濟、安全等都至關重要，但我國多數鐵公路系統於建設階段因數據與科學研究的限制未考量氣候變遷可能帶來的衝擊。近年來，在氣候變遷的環境下，鐵公路系統管理機關逐漸意識到風險管理的重要性並嘗試導入科技，輔助打造具韌性的系統。本研究旨在探討科技可輔助解決之鐵公路風險管理課題，除回顧國內鐵公路系統管理機關已應用於風險管理之科技作為外，更進一步以鐵公路系統於生命週期各階段的調適課題蒐集國外應用科技輔助調適之技術與案例，從國內可應用性的觀點探討鐵公路系統理機關於未來推動的可能性。分析結果可供後續相關研究與業務推動參考。

關鍵詞：氣候變遷、科技輔助、風險管理、鐵公路系統

2. 國內研討會投稿與接受證明

 中華民國運輸學會投審稿系統	
<p>親愛的任雅婷，您好： 這是一封來自運輸學會109年學術論文研討會發送的通知函。 非常感謝您提交運輸學會109年學術論文研討會的「應用科技輔助鐵路系統管理氣候變遷風險之探討」稿件。 稿件編號為2020-148。 我們將進一步通知您有關本稿件的後續處理結果。</p>	
<p>謝謝您！ 祝研安 詳細內容如下：</p>	
編號	2020-148
投稿年度：	2020
投稿人或通訊作者姓名：	任雅婷
服務單位：	鼎漢國際工程股份有限公司
職稱：	規劃師
聯絡電話：	(02)2748-8822#621
e-mail：	krisjen@thi.com.tw
投稿分類：	14.其他運輸相關
論文題目(中文)：	應用科技輔助鐵路系統管理氣候變遷風險之探討
論文題目(英文)：	The Study of Technology in Enhancing Railway and Highway Systems to Manage Climate Change Risks
作者(一)姓名(中文)：	任雅婷
作者(一)姓名(英文)：	Ya-Ting Jen
作者(其他)姓名(中文)：(多位作者姓名間請用逗點分隔)：	吳清如，韋詒軒，曾佩如，蕭為元
作者(其他)姓名(英文)：(多位作者姓名間請用逗點分隔)：	Ching-Ju Wu, Yi-Hsuan Wei, Pei-Ju Tseng, Wei-Yuan Hsiao
論文摘要(中文)：	<p>具韌性的鐵路系統對社會、經濟、安全等都至關重要，但我國多數既有的鐵路系統於建設階段因數據與科學研究的限制未考量氣候變遷可能帶來的衝擊。近年來，在氣候變遷的環境下，鐵路系統管理機關逐漸意識到風險管理的重要性並嘗試導入科技輔助打造具韌性的系統。本研究旨在探討科技可輔助解決之鐵路風險管理課題，除回顧國內鐵路系統管理機關已應用於風險管理之科技作為外，更進一步以鐵路系統於生命週期各階段的課題蒐集國外應用科技輔助之技術與案例，從國內可應用性的觀點探討鐵路系統理機關於未來推動的可能性。分析結果可供後續相關研究與業務推動參考。</p>
投稿稿件原始檔(限word格式 30M以內)：	其他運輸相關_應用科技輔助鐵路系統管理氣候變遷風險之探討.doc
無作者訊息稿件(限pdf格式30M以內)：	其他運輸相關_應用科技輔助鐵路系統管理氣候變遷風險之探討.pdf

附圖 3.1.1 文章投稿證明

審查結果公告

項目	分數
一、 論文之組織與結構是否層次分明?文章是否流暢且易於閱讀了解?(1~10分)	6
二、 研究是否具原創性對學術創新或實務應用具整體貢獻?(1~10分)	4
三、 研究資料及方法是否清楚說明，適當且正確使用?(1~10分)	5
四、 對相關領域之研究文獻是否已充分了解且參考?(1~10分)	6
五、 結論是否正確且充分獲得研究結果之支持?(1~10分)	6
總分	27
審查結果為	直接收錄

審查委員意見如下

本文旨在透過案例彙析及文獻回顧方式，彙析國內外韌性運輸系統所需具備的重要條件及相關科技輔助應用，據以提出國內鐵路管理機關所面臨之氣候調適課題及國內氣候風險管理之科技應用。研究內容就案例回顧上尚具參考性，但文章內容及案例彙析方式較缺乏系統化之安排，難以判斷其完整性與充分性。

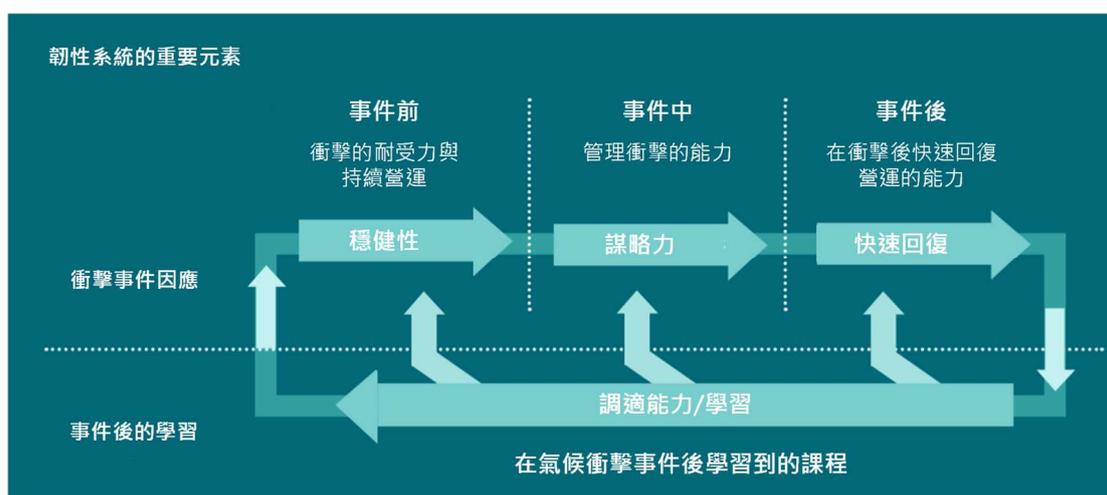
附圖 3.1.2 文章投稿接受證明

3.2 報導文章

本計畫將部分鐵公路調適應用新科技於調適之文獻蒐集成果撰寫為專題報導文章並上傳於鐵公路調適資訊平台，供國內鐵公路設施管理機關參考，內容如下：

題目：運用科技的輔助建構具韌性的鐵公路運輸系統

受氣候變遷影響，造成極端氣候事件發生頻率增加，衝擊運輸系統，造成系統淹水、邊坡災害、設施設備受損、班次取消等影響或中斷營運的事件。臺灣在 108 年因氣候事件造成的交通損失約 38 億元。在氣候持續變遷的環境下，如何打造具韌性的運輸系統在國際間已成為一個重要課題。



資料來源：Siemens, Technology Pathways to a Resilient Los Angeles, 2020.

附圖 3.2.1 韌性系統的重要元素

韌性的概念在近年來持續發酵，何為韌性？套入在鐵公路運輸系統上即是其面對氣候變遷衝擊的準備（prepare）、應變（respond）與回復（recover）的能力，以確保系統可保持營運，維持經濟與民生的需求，並對環境品質帶來正面的反饋。

本篇說明利用科技的輔助營造韌性的執行概念，包含（1）系統現代化、（2）數位分身（digital twin）與（3）強化能源系統，並以鐵公路運用之案例說明實際執行。

1. 系統現代化

現代化並非指汰換掉所有的老舊設施，而是利用科技更佳化的管理設施狀態，以感測器蒐集設施資料，讓相關數據更完善、透明，並可利用蒐集的大量數據評估與分析設施的狀態，掌握哪些設施(what)，在什麼時候(when)，可能因為什麼原因(why)，而讓營運中斷或受影響，執行預防性的養護，讓設施的營運表現可維持在設計的標準。系統現代化的科技應用案例如：

(1) 利用物聯網 (IOT) 技術提高荷蘭鐵路營運及運輸效率

荷蘭鐵路是歐洲最繁忙的路網之一，每日運量高達 110 萬旅次量，再加上硬體設備及系統老舊，因應未來搭乘人數及需求預計 10 年成長 40%，ProRail(荷蘭鐵路政府組織)引進物聯網技術，透過感測技術及數據傳遞、分析和管理的，藉以改善鐵道運輸效率及營運。

ProRail 已陸續於荷蘭鐵路路網全境裝設 2000 個物聯網感測器(附圖 3.2.2)，使用荷蘭最新一代的 CRTM3000(關鍵軌道溫度監控器 3000 型)，並以 LoRa (Long Range) 網絡技術傳輸，多裝置於鐵軌、柵欄、懸鏈線上。感測器所蒐集的數據可由 MTinfo 3000 Cloud 監控平台取得，此技術係在軌道上(使用磁鐵將感測器安裝於特定位置)裝設物聯網感測器，之後將可直接透過通訊技術獲取溫度(熱量)數據，藉以檢測鐵軌是否可能因高溫而膨脹，如超過臨界值將可即時發送警示訊息於管理者。



資料來源：<https://www.railwaypro.com/wp/prorail-install-iot-sensors-monitor-rail-infrastructure/>,2017

附圖 3.2.2 CRTM3000 (關鍵軌道溫度監控器 3000 型) 物聯網感測器

(2) 東日本鐵路應用物聯網執行維護作業

為提高列車的效率與安全，東日本與 Palo Alto Research Centre (PARC) 合作，導入工業物聯網 (industrial internet of things (IIoT))，透過預測分析設施狀態為基礎進行設施維護 (condition-based maintenance, CBM)，取代過往以時間為基礎的維護 (time-based maintenance, TBM) 與受損後修復，以減少維護的成本 (fail and fix)。

TBM 的做法適用於固定使用型態的設施，但位於特殊地形或氣候的設施，或是已大幅超過其設計年期的設施則相對不適用。透過預測分析，維護團隊會在 1 週至 1 個月前收到設施無法運作的預測，以利其規劃準備相關維護作業，避免路線營運的中斷。

PARC 導入 MOXI™ technology suite, 其建立以模式為基礎的演算法 (model-based algorithms)，可應用回傳之資料達到 90% 的預測準確率。Moxi 的評估流程分 6 個步驟。



資料來源：Parc, <https://www.parc.com/case-study/improving-railway-efficiency-with-condition-based-maintenance>, 2020。

附圖 3.2.3 Moxi 評估流程

(3) 美國聯邦鐵道局因應軌道挫屈

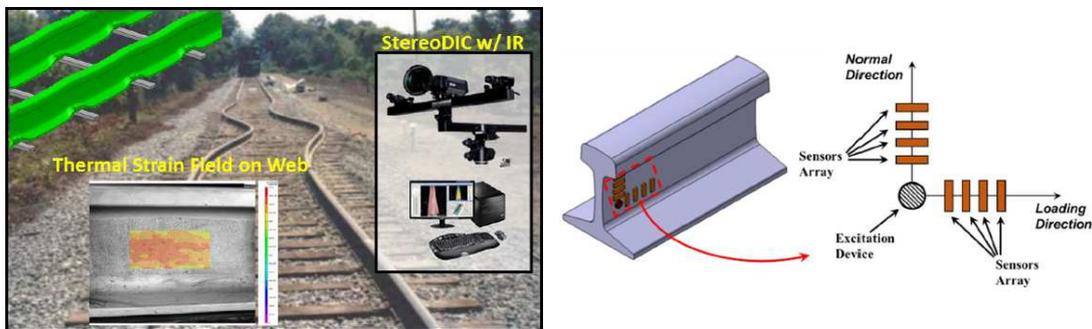
美國聯邦鐵道局於 2019 年有超過上百個鐵路相關技術計畫正在進行，其中與氣候變遷調適有關之計畫多與研究鐵軌溫度感測技術相關，如運用資料探勘與 AI 分析進行鐵軌零應力溫度 (rail neutral temperature) 與挫屈之科技偵測與管理，並建置手機連網應用程式進行鐵軌溫度即時感測與挫屈風險的預警。



資料來源：Federal Railroad Administration，Rail Moving America Forward, 2019.

附圖 3.2.4 鐵軌溫度即時感測鐵軌挫屈風險預測應用程式畫面

此外，也有數項計畫運用攝影機與紅外線攝影功能監測鐵軌溫度變化與其受到之力量變化，並建置網路通報系統以供即時監測。另有一計畫也運用了以音響學理論為基礎設計之偵測器即時偵測鐵軌因溫度產生之變化，即時監測提供挫屈處理因應。



資料來源：Federal Railroad Administration, Rail Moving America Forward, 2019.

附圖 3.2.5 紅外線攝影功能監測軌溫變化(左)、鐵軌零應力溫度感測器(右)

(4) 義大利應用 IOT 監控設施生命週期

義大利道路營運商 ASPI (Autostrade per l' Italia) 應用專為橋梁、道路、隧道等基礎設施設計的 Autostrade IoT 管理其設施。Autostrade IoT 係由 IBM 與 IBM Research 依 ASPI 子公司 Autostrade Tech 的研發成果開發，其功能符合義大利基礎設施與交通部 (Ministry of Infrastructure and Transport) 的智慧道路 (smart road) 所定義的基礎設施即時監測與維護系統，透過提升維護作業的效率與資訊的透明度，強化基礎設施安全性。

Autostrade IoT 採用 IBM 的 Maximo 資產管理 (Maximo Asset Management) 系統，優化監測、維護、管理基礎設施的作業與方式，支援即時與設施全生命週期的狀況監測與管理作業，運用 IoT 數據與資料分析管理資產可用性，以減少營運風險並降低營運成本、縮短營運中斷時間，以及最佳化資產的效能表現。

ASPI 營運與管理約 4,300 座橋梁、高架道路、隧道、高架橋等設施，可透過安裝在基礎設施上的感測器持續監測設施狀態，並經由 IoT 將收集到的所有更新資料即時傳送至監測平台，儲存於數位資料庫。

Autostrade IoT 運用 AI 演算法處理基礎設施的 3D 模型與技師現場拍攝的影像，區分出可能需要維護的區段，並提出進一步檢測的建議。此外義大利基礎設施與交通部的 Ainop 資料庫提供全國基礎設施安全狀況的監測資料，Autostrade IoT 也連線 Ainop 資料庫提供與更新轄下基礎設施的即時監測資料，提供其他單位做資料的加值應用。

Autostrade IoT 已於 2019 年底推出先導計畫進行測試，初期的測試涵蓋 3 座高架橋。第二階段則將於 2020 年中開始，將支援基礎設施維護作業，包含設計到營運階段以及測試到執行階段，並以單一儀表板提供維護作業的所有整合資訊 (附圖 3.2.6)。最終目標係於 2020 年底前完成 ASPI 的主要路網上的技術部署。



資料來源：Traffic Technology today.com, AI-based platform to monitor Italian highways infrastructure, <https://www.traffictotechnologytoday.com/news/infrastructure/ai-based-platform-to-monitor-italian-highways-infrastructure.html>, 2020.

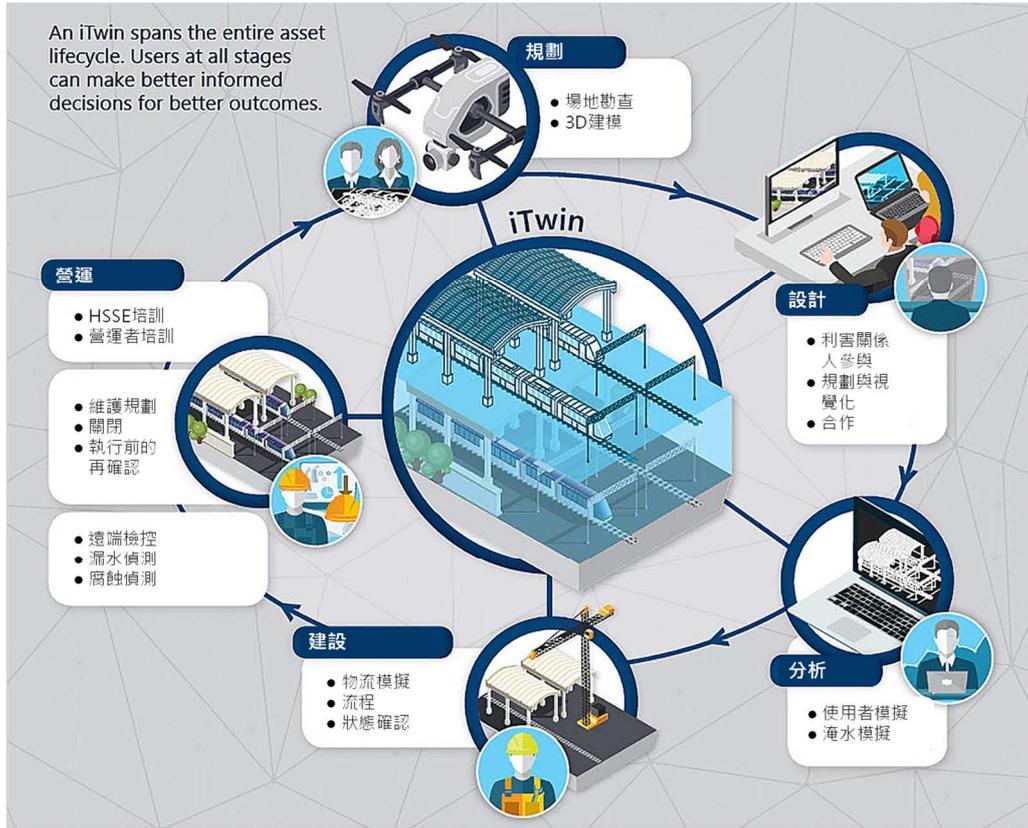
附圖 3.2.6 Autostrade IoT 現場應用 (左圖) 與功能架構 (右圖)

2. 數位分身

數位分身雖不是全新的概念，但在近期 3D 掃描、感測器與物聯網等的發展越來越完善下、讓建置數位分身的成本降低。

數位分身為一個物理資產 (physical asset)、流程、系統或工程資訊的細節數位模型。物理資產可以是一台售票機、電梯、軌道、機電設備與覽線等。換句話說，就是在實體與數位世界之間搭建橋梁，並透過數據無縫傳輸，使一件物品同步存在於實體與虛擬世界。除了在都市規劃上開始應用外，如新加坡政府與達梭系統 (Dassault Systèmes) 合作開發新加坡的數位分身「虛擬新加坡」(Virtual Singapore)，讓用戶得以 3D 的方式檢視整個城市隨著人口成長、新建設和其他主要活動的發展與成長。新加坡的政府與企業也能透過這個數位分身，針對各項建設與專案，實驗、研發、規劃與決策。

在鐵公路的應用上，規劃、設計與建設新的鐵公路建設，或是既有鐵公路建設的改善計畫時，數位分身可應用營運條件的模擬優化設計並降低風險。在營運時，感測器、大數據分析、物聯網、人工智慧、與無人機所提供的資訊可提供即時的資訊，以利決策與維護的優先順序決定。



資料來源：Bentley, <https://www.bentley.com/en/products/product-line/digital-twins/itwin>, 2020.

附圖 3.2.7 Digital Twin 流程

(1) 印度那格浦爾 (Nagpur) 的 Maha Metro 應用數位分身

規劃與營運運用數位分身，優化規劃、工程與營運等階段。規劃階段為模擬設計，工程階段為管理每個工程階段的效率移交，營運階段則運用資產標籤 (asset tag)，各資產連結資產規格、當下狀態、營運與管理手冊等，以制定維護的優先順序。預估可節省 222 百萬美元/25 年



資料來源：<https://www.railwayage.com/analytics/realizing-the-potential-for-digital-twins-in-rail/>

附圖 3.2.8 數位分身的應用

(2) 挪威 Bergen 輕軌系統規劃

為因應 Bergen 的人口持續成長，規劃延伸 Bybanen 輕軌，以鼓勵都市發展。新的輕軌路線為 9 公里，預算為 6.2 百萬 NOK，包含 8 個新站點 (含機廠與總站) 與 2 個新隧道。因規劃範圍大多為山區、平地很少，有很高的挑戰，且需要許多的合作，故透過建立數位分身的方式模擬與蒐集所有的數據，以利分享、討論與管理規劃及工程。

規劃團隊透過數位分身模擬 30 個不同的線型、節省了 15% 的計畫時間，25% 的工程錯誤。

3. 強化能源系統

透過強化能源系統，分配能源資源，城市可建立混合型電網 (hybrid grid)，其混合 mini/micro 網格與能源儲存。此做法在氣候事件衝擊後，當主要電網 (central grid) 損壞，需要長時間修復時，透過混合能源系統的個別電網特性，可在幾日內就恢復重要設施的供電。

4. 小結

國內在鐵公路的氣候變遷調適上亦有研擬相關新科技之應用，依據《國家氣候變遷調適行動計畫 (107-111 年)-維生基礎設施領域行動方案》，鐵公

路都積極應用科技輔助其設施安全，如臺鐵局規劃建置的邊坡全生命週期管理系統；高鐵公司將雨量之影響用於坡災防治上，另外，也透過導入人工智慧之協助，辨識高風險之公路邊坡與鐵路扣件缺失等。

以下就上述所蒐集之鐵公路應用於調適的新科技適用之設施形式、國內可應用處與限制（附表 3.2-1）。

附表 3.2-1 系統現代化的案例與國內適用性

設施形式	氣候狀態	應用之科技	國內可應用處	使用限制
■ 平面	■ 高溫	✓ 溫度感測器裝置於鐵軌、柵欄、懸鏈線上並以LoRa網絡技術傳輸及獲取溫度數據	✓ 使用物聯網感測技術，將使鐵路更智慧及安全外，更有效且精準地監控軌道環境狀態，無須依賴人工進行巡檢作業	✓ 新的無線通訊標準可能淘汰LoRa
■ 平面 ■ 地下 ■ 鐵路	■ 強降雨 ■ 強風 ■ 高溫	✓ 鐵路應用物聯網執行維護作業	✓ 應於鐵路設備的資產管理於維護上，將資源與人力做更完善的分配，預防營運中斷	✓ 位於特殊地形或氣候的設施，或是已大幅超過其設計年期的設施不適用 ✓ 感測器與預測模式的建立與校估需時間與數據累積以提升預測精確度
■ 平面	■ 高溫	✓ 攝影機與紅外線攝影功能監測鐵軌溫度變化	✓ 應用於軌溫的管理與應變	✓ 可能受水氣影響辨識精確度
■ 平面 ■ 高架 ■ 隧道	■ 強降雨 ■ 暴潮	✓ 應用物聯網監控設施生命週期	✓ 應於鐵路設備的資產管理於維護上，將資源與人力做更完善的分配，預防營運中斷	✓ 感測器與預測模式的建立與校估需要時間與數據累積以提升預測精確度

公路與鐵路為因應強降雨、強風、高溫、暴潮等造成的衝擊在既有的設施上係採用感測器結合物聯網、數據分析或人工智慧之方式掌握設施的狀態，以利進行維護，確保設備狀態在其最高的耐受力。在因應高溫上，以感測器或紅外線攝影的方式監測軌道的溫度與線型，於軌道可能變型或挫屈前火車先降速與維護人員先進行因應。

數位分身於國內的應用上符合國內發展智慧城市之方向，在鐵公路系統應用上，可逐步建立系統的設施與設備的數位分身，在新建與改建上可用於模擬不同氣候情境下可能的影響，於規劃階段即掌握可能面臨的衝擊，針對衝擊在設計上研擬相對應的因應強度，並在工程建設上持續管理；在營運上，則可持續的掌握資產的狀態，進行預防性的養護。

參考文獻

1. Siemens, Technology Pathways to a Resilient Los Angeles, <https://new.siemens.com/us/en/company/topic-areas/intelligent-infrastructure.html>, 2020.
2. <https://www.railwayage.com/analytics/realizing-the-potential-for-digital-twins-in-rail/>
3. <https://www.railwaypro.com/wp/prorail-install-iot-sensors-monitor-rail-infrastructure/>,2017.
4. Parc,<https://www.parc.com/case-study/improving-railway-efficiency-with-condition-based-maintenance>, 2020.
5. Federal Railroad Administration , Rail Moving America Forward, 2019.
6. Traffic Technology today.com, AI-based platform to monitor Italian highways infrastructure, <https://www.traffictechanologytoday.com/news/infrastructure/ai-based-platform-to-monitor-italian-highways-infrastructure.html>, 2020.
7. Bentley, <https://www.bentley.com/en/products/product-line/digital-twins/itwin>, 2020.
8. Engineeringtechnik, <https://engineeringtechnik.com/bergen-light-rail-digital-twin/>, 2020.
9. 行政院，國家氣候變遷調適行動方案（107-111 年）-維生基礎設施領域行動方案，民國 108 年。

附錄 4

計畫簡報



大綱 *OUTLINE*

01 前言

02 文獻回顧

03 鐵公路調適新科技應用

04 運輸系統調適策略檢討

05 調適風險資訊移轉與平台維運

06 結論與建議

2

01 前言

- 1.1 計畫背景與目的
- 1.2 計畫範圍與對象
- 1.3 工作項目與流程

1.1 計畫背景與目的 (1/2)

● 氣候變遷對運輸系統的衝擊



- 極端氣候事件發生得**更頻繁**
 - 極端氣候事件發生的**時間拉長、縮短或驟變**
 - 極端氣候事件發生的**強度增強、變化加速**
- 系統受衝擊後的**回復時間受限**

1.1 計畫背景與目的

(2/2)

背景

- 交通部依據《溫管法》研議調適策略，每年11/30提出調適成果報告
- 運研所於102年起辦理調適系列研究
 - 102年~105年建立鐵公路氣候變遷風險評估方法、風險地圖與調適平台
 - 106年「鐵公路氣候變遷調適行動方案之研究」提出鐵公路調適行動方案
 - 107年「運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫」研擬運輸系統調適策略
 - 108年「運輸系統調適策略之研究」滾動檢討調適策略

目的



滾動檢討運輸系統調適策略



維運鐵公路調適平台並移轉風險資訊



蒐集鐵公路提升調適能力新科技



辦理教育訓練強化調適專業知識

1.2 計畫範圍與對象

計畫範圍(策略、新科技應用)

- 運輸系統調適策略滾動檢討
 - 前期計畫調適策略檢討
 - 設施管理機關(構)現行調適作為蒐集
 - 國外調適策略及措施新趨勢蒐集
- 鐵公路應用新科技於調適案例蒐集

計畫範圍(風險資訊移轉)

- 鐵公路調適平台維運
- 風險評估移轉作業
 - 移轉流程與方案規劃
 - 機關(構)移轉方案溝通
 - 機關(構)移轉最佳方式與移轉協助

服務對象與應用

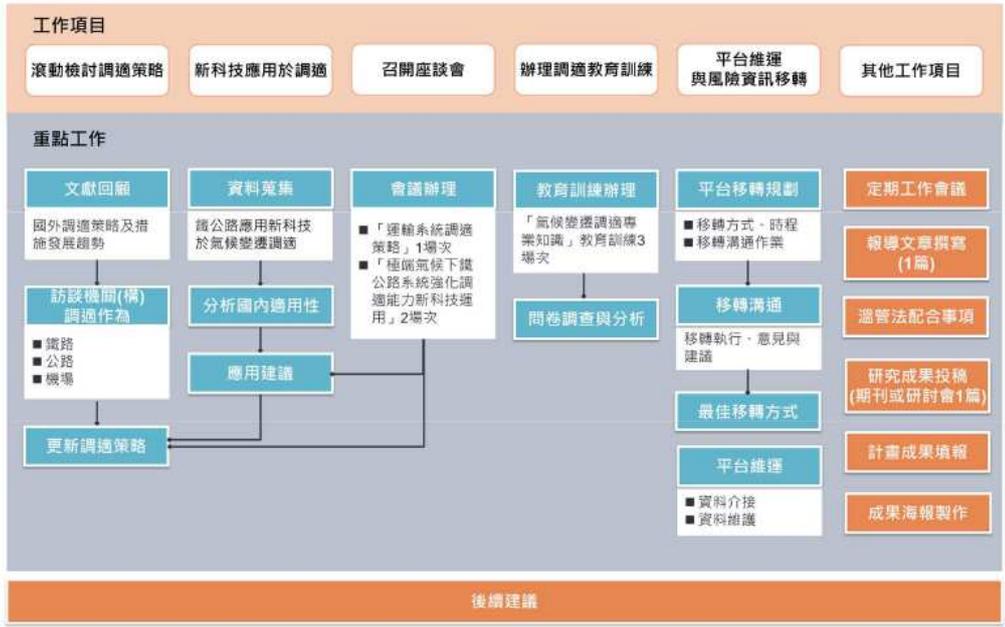
- 鐵道局、臺鐵局、高鐵公司、高公局、公路總局、民航局、桃機公司、航港局、港務公司
- 辦理調適業務

服務對象與應用

- 鐵道局、臺鐵局、高鐵公司、高公局、公路總局
- 評估設施風險、辦理調適業務

1.3 工作項目與研究方法

工作項目與流程



02

文獻回顧

- 2.1 整體調適趨勢
- 2.2 調適及風險管理
- 2.3 鐵公路系統調適趨勢
- 2.4 海空運系統調適趨勢

2.1

整體調適趨勢

(1/2)

● 國外調適新趨勢

COP 25會議重點

- 加強公、私部門與利害關係人間的溝通、合作與資源投入，
- 建置調適資料庫並加強機關間資料共享
- 強化調適計畫監測、評估與學習機制，使計畫有彈性
- 國家預算和氣候變遷行動掛鉤，並提高調適資金運用透明度
- 加強調適教育



國際標準組織

- 國際標準組織發布全球第一項針對氣候變遷調適的標準：[ISO14090 氣候變遷調適 - 原則、規定與指導](#)(2019)
- 幫助組織研擬具效益且可付諸行動的調適計畫
- ISO14090適用於已開始調適與剛決定調適的組織



2.1

整體調適趨勢

(2/2)

● ISO 14090調適原則

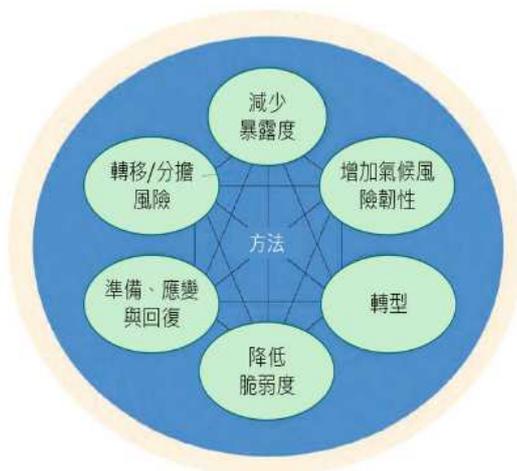
4.原則	4.1 整體	氣候變遷調適的基礎，並作為規劃的準則
	4.2 改變導向思維	組織內所有層級的思維改變，改變可以是預防式或反應式，有不同的改變幅度
	4.3 彈性	持續回顧、回應與因應新的狀態、環境、方法與方案等，採用滾動學習與因應管理流程，以響應式的方法改善理解、決策與執行等流程
	4.4 主流與深化	調適融入組織的政策、計畫、流程等，以提高調適效益
	4.5 穩健性	應用合適的方法與資料來源以達到穩健的決策與調適行動方案
	4.6 輔助原則	應用適合的程度、規模執行調適最大化效果
	4.7 永續性	調適平均考量經濟、社會與環境議題，並平衡現在與未來世代的需求
	4.8 減緩與調適結合	調適也考量減緩氣候變遷的目標
	4.9 系統性思考	釐清內部、外部與兩者關聯的氣候變遷課題，如透過因果分析
	4.10 透明度	調適的報告與溝通以透明公開的態度提供給利害關係人
	4.11 責任義務	組織清楚其在氣候變遷調適上的責任

2.2

調適及風險管理

● IPCC氣候變遷下的調適及風險管理方法

- **暴露度與脆弱度決定氣候衝擊程度**，故減少暴露度與降低脆弱度為重要作為
- 增加氣候風險韌性即是**降低系統中斷營運的風險**
- 轉型為**改變組織的價值、思維、規定、預算、技術能力等**，以利調適執行
- 轉移/分擔風險、準備、應變與回復**除系統本身，亦涉及跨運輸系統整合**



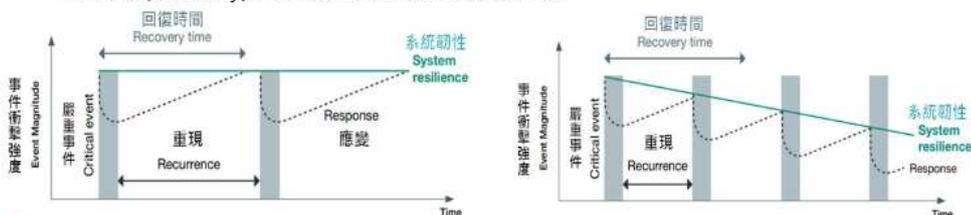
2.3

鐵路系統調適趨勢

● 運輸研究實驗室(TRL)-鐵路與公路韌性提升手冊(2019)

■ 韌性為可承受、調適與回復的能力，**具韌性的運輸系統可在受衝擊時依然維持其基本運輸能力(essential services)**

1. 備援力(redundancy)：替代道路或是備用的運輸容量
2. 可靠性(reliability)：可在多種狀況下營運
3. 耐受力(resistance)：物理的耐受力
4. 回復力(recovery)：受到影響時的應變與回復能力



(1/3)

● 韌性提升的六大領域

- **受事件衝擊後回復轉變為規劃階段的預防**
- 韌性的行動計畫與其他面向的行動計畫競爭著資源，**需政府政策方向的介入與領導**
- **擴大組織對韌性的認識與其重要性的認同**



2.3

鐵公路系統調適趨勢

(2/3)

● 聯邦公路管理局-沿海公路以自然為本方案提升韌性指導手冊(2019)

■ 以自然為本的調適方案

□ 運輸主管機關意識到傳統工程的限制及生態破壞，逐步採用自然為本與生態保育之方式，或以混和作法保護沿海運輸系統，為氣候衝擊事件的第一線防禦

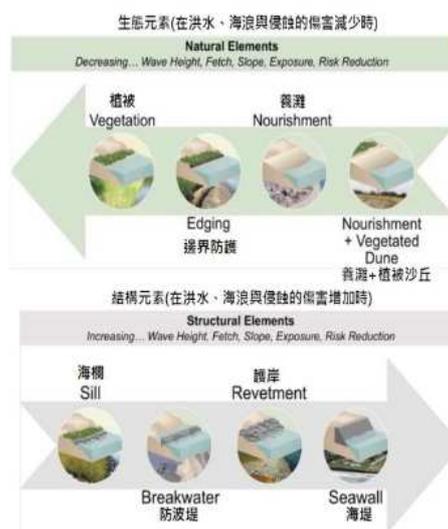
□ 自然為本做為調適的方案也可提供生物良好的棲息地、水質及居民的休閒場域

□ 生態為本方案的優點

1. 以自然循環系統增強面對衝擊的韌性
2. 等於或低於工程工法的成本
3. 以自然調適的方法達成與工程相同目的
4. 相比工程提供了更多自然美學上的效益

□ 公路是否適合自然為本方案需考量

1. 工程韌性與危害降低的需求
2. 生態與地質的條件符合度
3. 面對大浪的暴露度
4. 工程計畫的標的與成本效益
5. 需要的工程可靠性
6. 在地的政策與法規



2.3

鐵公路系統調適趨勢

(3/3)

● 美國科學研究院-調適計畫成本效益評估(2020)

■ 成本效益評估流程



□ 考量氣候模式與情境(IPCC AR5的4個RCP情境)

□ 依據計畫所在區域選取合適的氣候情境，並考量設施的壽年

■ 成本效益評估參數(建設調適方案為例)

□ 成本：建置前、建設、建設延遲的成本等、營運管理、折舊及社會與環境成本

□ 效益：「避免的災害影響」，如物理損害；應變與回復成本的節省等，其他損害的節省、地方經濟損失的節省與運輸服務中斷或延遲的營運與時間成本損失節省

1. 歷史資料：機關過往因物理損害、應變與回復及其他損害所造成的影響做為效益假設
2. 工程報告：以工程角度評估不同運輸設施受損的成本
3. 運輸部門研究：運輸部門針對運輸設備的損害進行研究所產出之數據
4. 軟體估算

□ 環境效益：加強環境生態、復育生態系統等、水質、開放的蓄水公共空間；環境正義、舒緩民眾在氣候變遷環境下的焦慮等

2.4

海空運系統調適趨勢

(1/2)

● 世界水上運輸基礎設施協會-港口與航道的氣候變遷調適規劃(2020)



階段1 歸納關聯性與設定調適目標

- 設定能符合預期的目標並盤點資產、營運及系統清單
- 辨識利害關係人並鼓勵參與討論因應氣候變遷
- 準確數據的收集和管理對調適計畫的成效相當重要

階段2 掌握氣候資訊

- 歸納資產、營運管理和系統易遭受的影響
- 蒐集及分析數據了解基期和未來的氣候狀況，
- 數據分析超出能力範圍時，尋求政府、學術組織協助

階段3 評估脆弱度及風險

- 確定風險指標並評估脆弱度評估
- 建立風險評估矩陣
- 將風險評估結果總結為報告或文件

階段4 建立調適選項

- 研擬並實施調適策略
- 調適措施組合需考量物理、社會及體制
- 建立有效率的管理原則，避免適策略成效不彰
- 調適策略的成功需民眾參與及支持

2.4

海空運系統調適趨勢

(2/2)

● 美國科學研究院-機場氣候韌性成本效益評估手冊(2019)

評估方法

- 步驟1分析機場氣候營運風險，判斷氣候因子的影響，並分析成本效益及財務可行性分析以確定影響程度
- 步驟2透過蒙地卡羅和風險值分析方法確定機場受影響的可能性及潛在的調適措施是否有效

評估衝擊

- 脆弱度評估及評分工具蒐集有資產脆弱度的指標並評估脆弱度
- 機場氣候風險營運檢視軟體工具利用機場面臨的氣候因子進行預測，使機場可快速評估未來各種地方調適措施帶來的成效及變化

應對與調適

- 使用機場氣候風險營運軟體工具可將機場資產面對氣候因子伴隨的脆弱度和嚴重性聯繫起來，並列出潛在調適選項
- 不涉及基礎設施投資營運的調適措施如行動準備、建立合作關係、購買氣候保險等

03

鐵公路調適新科技應用

- 3.1 機關(構)調適課題
- 3.2 新科技蒐集範疇
- 3.3 國內鐵公路新科技應用
- 3.4 國外鐵公路新科技應用
- 3.5 國內應用分析

3.1

機關(構)調適課題

● 調適課題綜整

- 綜合考量資料蒐集、機關(構)訪談整理各階段之調適課題
 - 規劃階段
 - 如何掌握氣候變遷與氣候事件的衝擊並[避免高風險地區?](#)
 - 設計施工階段
 - 如何模擬[氣候情境在設計方案上的影響](#)並[視覺化設計與掌握設施施工狀態?](#)
 - 營運維護
 - 如何更科技化監測與管理?藉此提升[預警準確性與應變反應?](#)
 - 如何補足目識判斷有所不足及[養護人力上的短缺?確保設施維持在設計基準](#)
 - 如何更明確掌握設施狀態，進行[預防性的養護?](#)

3.2 新科技蒐集範疇

01 依循國家科技政策，蒐集數位智慧科技之應用案例(無人機、3D掃描、感應器、大數據、人工智慧(Artificial Intelligence, AI)、物聯網...等)

02 以極端氣候事件類型與設施型式交叉分析衝擊程度，針對衝擊相對明顯的情形蒐集調適新科技運用案例

設施型式		極端氣候事件類型				
		強降雨	強風	暴潮	高溫	海平面上升
鐵路	平面	√	√	√	√	√
	高架	√	√	√	√	√
	地下	√		√	√	√
	隧道	√		√	√	√
公路	平面	√	√	√	√	√
	高架	√	√	√	√	√
	地下	√		√	√	√
	隧道	√		√	√	√

03 著重於規劃、設計施工、營運維護階段之調適新科技運用案例蒐集



3.3 國內鐵路設施管理機關(構)

(1/2)

● 國內鐵路設施管理機關(構)

- 國內已有在應用大數據、光達、無人機等科技
- 上述科技多用於防減災，但**技術做應用上的轉換即可用於調適**

高 鐵 公 司	 <ul style="list-style-type: none"> ■ 建置以降雨強度為導向之邊坡安全預警系統，彙整103年至107年歷史數據，建置預測模式 ■ 依不同降雨強度與總雨量，研判邊坡坍塌機率並評估對營運的影響
	 <ul style="list-style-type: none"> ■ 引進地面光達雷射掃描儀，觀察沿線邊坡的傾斜狀況，逐年比對邊坡位移數據 ■ 取代人力檢測邊坡風險，減少5成人力及工時
臺 鐵 局	 <ul style="list-style-type: none"> ■ 建置邊坡管理系統，可即時套疊資訊，做為決策依據，並於異常狀況時自動通報

3.3

國內鐵路公路新科技應用

(2/2)

● 國內公路設施管理機關

- 國內已有在應用無人機、3D掃描、感應器、大數據、AI等科技
- 上述科技多用於防減災，但技術做應用上的轉換即可用於調適

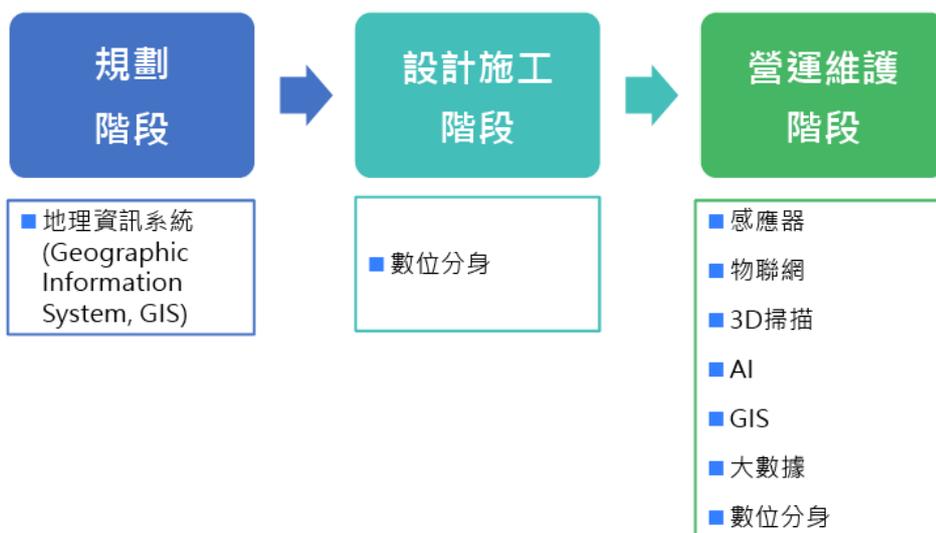
公路總局		<ul style="list-style-type: none"> ■ <u>無人機空拍高危害度邊坡並建3D模型</u>，研判邊坡危害因子，增加邊坡在氣候變遷下的穩定性
		<ul style="list-style-type: none"> ■ <u>建置路面淹水感測器</u>，<u>透過傳輸網路</u>將路面淹水資料回傳至平臺分析，提供用路人通阻情報 ■ <u>資訊儲存雲端</u>，<u>進行回饋模式驗證與AI發展</u>
高公局		<ul style="list-style-type: none"> ■ 未來將AI結合無人機，確保設施韌性 □ <u>運用AI疊合與分析</u>河道變遷與固床工露出 □ <u>無人機配合AI影像辨識</u>，快速檢視橋梁狀態 □ <u>套疊無人機拍攝正射影像</u>，<u>可輔助工程規劃</u> □ <u>無人機與光達</u>可應用於<u>環境變化量測與評估</u>

3.4

國外鐵路公路新科技應用

(1/8)

● 蒐集運輸系統於不同生命週期階段的調適新科技應用



3.4

國外鐵路新科技應用

(2/8)

課題：如何掌握氣候變遷與氣候事件衝擊並迴避高風險地區？

● 規劃階段：GIS

■ 應用地形分析迴避高風險地區

- 以2D和3D數值模型對地球表面進行建模和視覺化
- 可計算高度、坡度和曲率等，配合情境分析用於判斷與決策規劃

美國國家海洋和大氣管理局與Esri公司合作，利用GIS地形分析和水利模型，建立各河川流量預測，精進洪水與淹水模擬製圖



3.4

國外鐵路新科技應用

(3/8)

課題：如何模擬氣候情境在設計方案上的影響並視覺化設計與掌握設施施工狀態?(1/2)

● 設計施工：數位分身

- 數位分身為不同規模的數位模型，如零件、資產、流程、系統等



- 規劃、設計、新建或改建時，數位分身可應用營運條件的模擬優化設計並降低系統風險

- 數位分身可發展為不同等級，具不同能力且可處理不同工作



3.4

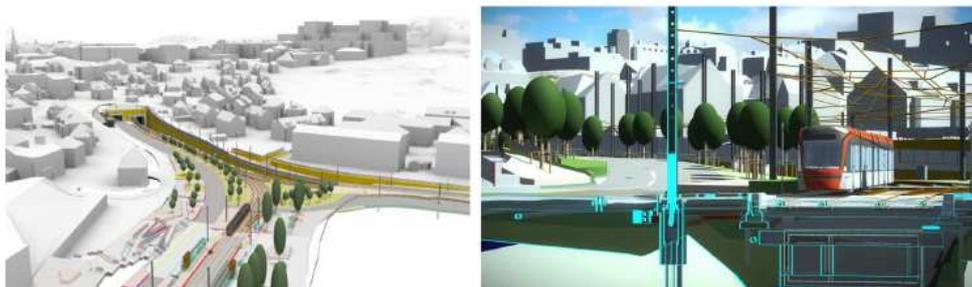
國外鐵路新科技應用

(4/8)

課題：如何模擬氣候情境在設計方案上的影響並視覺化設計與掌握設施施工狀態?(2/2)

● 設計施工：數位分身

- 爾根Bybanen輕軌應用數位分身輔助設計施工
 - 因規劃範圍須迴避高風險地區(地質敏感區、水資源區等)
 - 建立數位分身模擬與蒐集所有的數據，以利分享、討論與管理規劃及施工
 - 以數位分身模擬30個不同線型以選取最佳設計方案



3.4

國外鐵路新科技應用

(5/8)

課題：如何更科技化監測與管理?提升預警準確性與應變速度?

● 營運維護：GIS、感應器、物聯網、大數據、AI

- 設施管理
 - 以GIS數據管理、分析和視覺化功能可提升維護工作效率
 - 幫助領導者評估安全風險、制定計畫、保護員工和資產並改善日常營運
 - 智慧地圖可幫助設施管理員掌握其管理的空間和其中的人員，並監督日常營運



現場作業

即時現場活動的位置、透視圖、數據、資料，以儀表板輔助決策



視覺化和分析

串聯大數據和物聯網並基於最新訊息做出決策



製圖

視覺化人員、地點和資產，制定詳細計畫，有效協調和分配資源

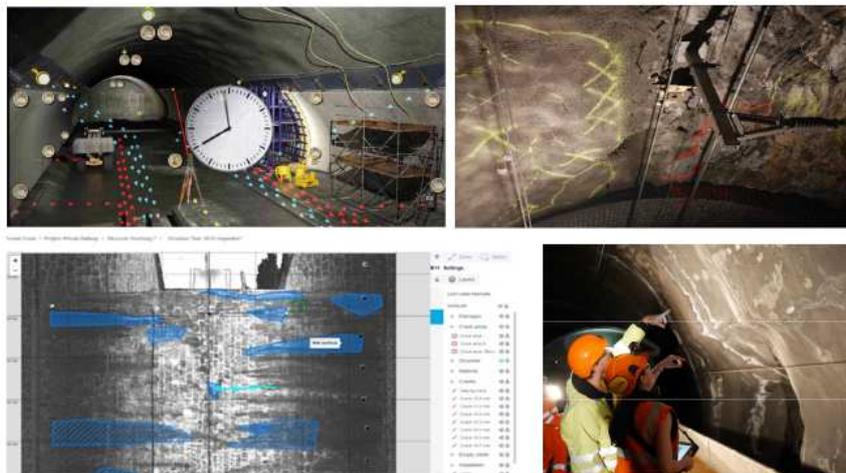
3.4

國外鐵路新科技應用

(6/8)

課題：如何補足目視之判斷有所不足及養護人力上的短缺?確保設施維持在設計基準

- 營運維護：3D掃描、AI
 - 瑞士開發多感官系統檢測隧道以因應人工耗時且會有目視判斷不足課題
 - 新型輕巧多感官系統，可在單次掃描中蒐集隧道的幾何、表面結構與滲水等資料
 - 掃描器記錄隧道，產出影像顯示小於1毫米之裂縫，影像做AI訓練並與規劃系統整合



3.4

國外鐵路新科技應用

(7/8)

課題：如何更明確掌握設施狀態，進行預防性的養護?(1/2)

- 營運維護：感應器、物聯網、大數據、AI



- 東日本鐵路與帕羅奧多研究中心合作，導入物聯網，[建立預測模式](#)，可達到90%預測準確率
- 以[預測分析設施狀態進行設施維護](#)，取代傳統的受損後修復方式
- 維護團隊會在[1週至1個月前收到設施無法運作的預測](#)



3.4

國外鐵路公路新科技應用

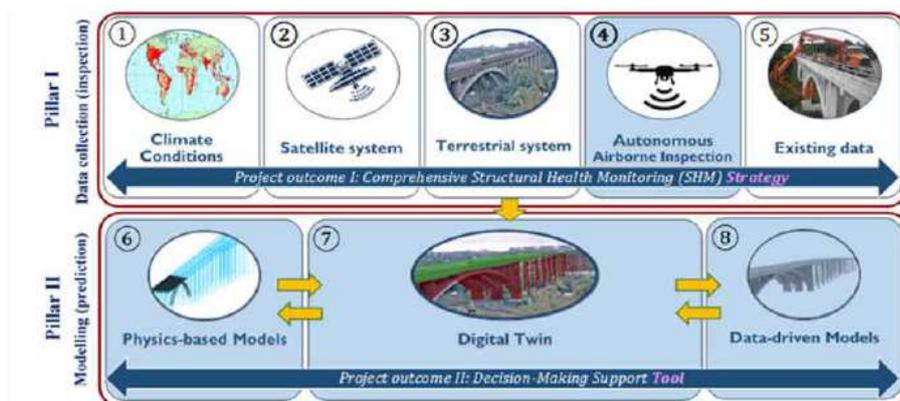
(8/8)

課題：如何更明確掌握設施狀態，進行預防性的養護?(2/2)

● 營運維護：數位分身

■ 斯德哥爾摩公路橋梁因應氣候變遷建置數位分身，以降低極端氣候事件影響

- 第一階段：資料蒐集-蒐集現況，歷史與未來的氣候數據，建立完整數據庫
- 第二階段:模擬-建立數位分身，做為來氣候風險決策工具，以及設施老化預測



04

運輸系統調適策略檢討

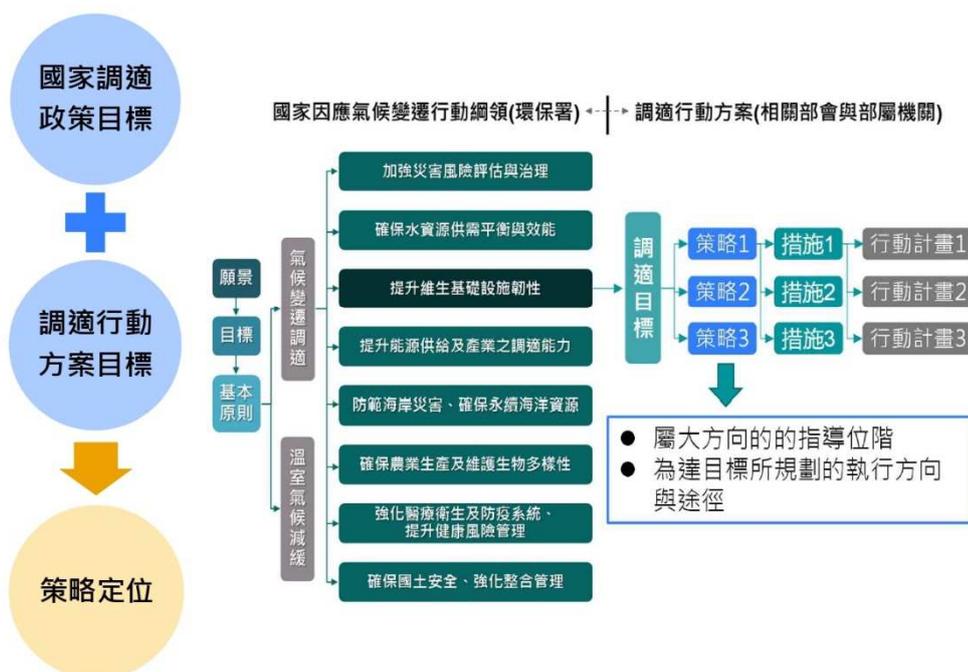
- 4.1 策略滾動檢討流程
- 4.2 調適策略定位與範疇
- 4.3 調適策略架構
- 4.4 差異比較
- 4.5 調適措施

4.1 調適策略滾動檢討流程



4.2 調適策略定位與範疇 (1/2)

● 調適策略定位



4.2

調適策略定位與範疇

(2/2)

● 調適策略範疇

設施範疇	<ul style="list-style-type: none"> • 鐵路：場站、路線重要設施及系統設施之營運 • 公路：路線重要設施 • 機場：空側與陸側設施及系統設施之營運 • 商港：海域與陸域設施及系統設施之營運
時空範疇	<ul style="list-style-type: none"> • 過去：歷史經驗 • 現在：現況風險 • 未來：未來風險
氣候事件範疇	<ul style="list-style-type: none"> • 強降雨 • 強風 • 暴潮 • 高溫 • 海平面上升

4.3

調適策略架構

(1/4)

● 調適策略目標

- 《行動綱領》目標：「健全我國面對氣候變遷之調適能力，以降低脆弱度並強化韌性」
- 《調適行動方案（107-111年）》策略：「建構能適應氣候變遷環境的韌性運輸系統、提升運輸設施氣候變遷調適能力」
- 依循上位計畫之指導，調適目標設定為「建構具氣候變遷韌性的運輸系統」



4.3

調適策略架構

(2/4)

● 調適策略架構調整

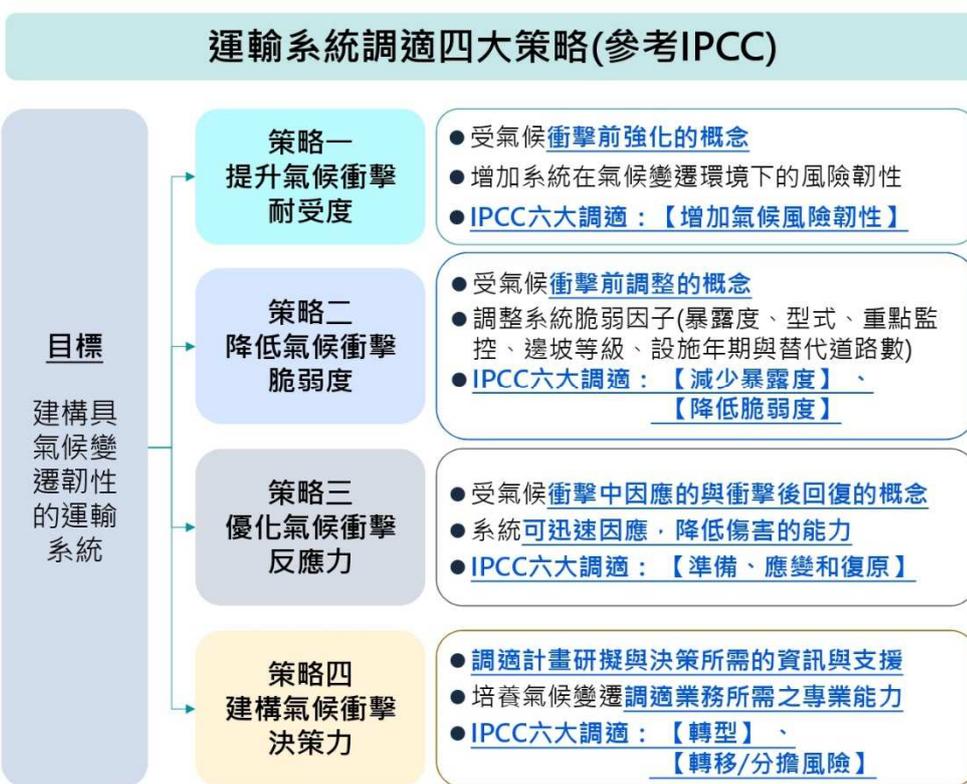
- 參採IPCC的氣候變遷風險管理，重新結構運輸系統調適策略架構
- 考量措施位階差異
 - 108年計畫「調適策略四大構面」→「運輸系統調適四大策略」
 - 108年計畫「15項調適策略」→「15項調適措施」

108年計畫		109年計畫	
四大調適構面	一、提升衝擊耐受力	運輸系統 四大調適策略	一、提升氣候衝擊耐受力
	二、強化預警應變力		二、降低氣候衝擊脆弱度
	三、提高系統回復力		三、優化氣候衝擊反應力
	四、增進決策支援力		四、建構氣候衝擊決策力

4.3

調適策略架構

(3/4)



4.3

調適策略架構

(4/4)

● 運輸系統調適四大策略與15項措施

■ 參考國外調適趨勢、研究成果、ISO 14090、機關(構)訪談、本計畫研究成果



4.4

差異比較

(1/4)

● 策略一：提升氣候衝擊耐受度

■ 4項措施

109年計畫(調適措施)		108年計畫(調適策略)		本計畫調整說明
1-1	建立設施安全性與風險評估方法、 <u>風險基準</u> 並定期評估	10	建立設施安全性與風險評估方法並定期評估	<ul style="list-style-type: none"> ■ 參考國外風險管理與調適研擬流程，風險基準為調適研擬依據 ■ <u>機關(構)需評估風險並制定可承受之風險等級，故補充風險基準</u>
1-2	檢討並將氣候調適概念納入規劃、設計、施工及養護相關規範與 <u>作業程序</u>	2	檢討並修訂規劃、設計、施工及養護相關規範	<ul style="list-style-type: none"> ■ 參考設施管理機關(構)作業方法 ■ <u>機關(構)為執行調適業務有研擬其作業流程依循，故補充作業程序</u>
1-3	<u>迴避高風險潛勢地區</u> 並考量周邊環境關係 <u>持續發生受損阻斷之系統點位規劃改線、廢線</u>	1	迴避高災害潛勢地區並考量周邊環境關係	<ul style="list-style-type: none"> ■ 本計畫成果建議 ■ 為避免混淆防災與調適，原<u>高災害潛勢地區調整為高風險潛勢地區</u> ■ 補充持續發生<u>受損阻斷系統應規劃改線或廢線，即為迴避作為</u>
1-4	運用或研發有助提升衝擊耐受力的 <u>科技</u> 、材料、工程工法與設備	3	運用或研發有助提升衝擊耐受力的材料、工程與設備	<ul style="list-style-type: none"> ■ 本計畫成果建議 ■ <u>因新科技的應用可提高系統的衝擊耐受度，故納入科技</u>

4.4

差異比較

(2/4)

● 策略二：降低氣候衝擊脆弱度

■ 3項措施

109年計畫(調適措施)		108年計畫(調適策略)		本計畫調整說明
2-1	檢討並調整 <u>氣候變遷環境下之</u> 風險監測	4	檢討並調整巡檢制度與風險監測	<ul style="list-style-type: none"> ■ 本計畫成果建議 ■ 巡檢為非氣候變遷就需執行工作且可透過措施1-2檢討，故刪除 ■ <u>補充風險監測的調整須立基於氣候變遷環境下</u>
2-2	加強跨運輸系統間的 <u>運輸連結性</u>	5	加強跨運輸系統介面及重要維生基礎設施聯外/聯絡道路衝擊耐受力	<ul style="list-style-type: none"> ■ 本計畫成果建議 ■ 重點為<u>運輸系統節點間的聯繫</u>，故將用字簡化以加強重點
2-3	建立運輸系統設施的 <u>內部與外部</u> 備援方案	7	建立運輸系統設施的備援方案	<ul style="list-style-type: none"> ■ 本計畫成果建議 ■ 為避免機關(構)僅探討內部備援，<u>補充須包含內部與外部備援機制</u>

4.4

差異比較

(3/4)

● 策略三：優化氣候衝擊反應力

■ 2項措施

109年計畫(調適措施)		108年計畫(調適策略)		本計畫調整說明
3-1	建構跨運輸系統預警應變網絡	6	運用或研發有助提升預警精度與速度的科技與設備	<ul style="list-style-type: none"> ■ 參考聯合國《運輸網絡及節點的氣候變遷衝擊評估與調適》及COP會議 ■ 預警應變除仰賴氣象資料外，亦有<u>機關(構)間的合作</u>，故調整為跨運輸系統的預警應變網絡
3-2	建立分階段復建原則	9	建立分階段復建原則	無調整
--	--	8	運用或研發有助提升復建效率的科技、工法與材料	<ul style="list-style-type: none"> ■ 本計畫成果建議 ■ <u>因新科技的應用可用於所有階段提高系統耐受度</u>，故整合於措施1-4

4.4

差異比較

(4/4)

● 策略四：建構氣候衝擊決策力

■ 4項措施

109年計畫(調適措施)	108年計畫(調適策略)	本計畫調整說明
4-1 建立調適計畫投資決策評估方法	11 建立氣候變遷調適計畫投資決策評估方法	本計畫成果建議
4-2 <u>建立調適計畫監控、評估與學習機制</u>	-- --	<ul style="list-style-type: none"> ■ 參考COP會議，ISO14090原則 ■ <u>加入計畫生命週期、監測、評估與學習機制，以利計畫達到目標，並從中學習，加值後續計畫</u>
4-3 <u>建置氣候風險管理與調適計畫研擬所需資料庫及工具</u>	12 建置風險管理所需資料庫及支援系統工具	<ul style="list-style-type: none"> ■ 參考COP會議，ISO14090原則 ■ 除風險管理，<u>調適計畫資料庫也至關重要，如所需數據、執行計畫等</u>
4-4 培育氣候變遷風險管理與調適專業人才	13 建立氣候變遷風險管理與調適專業組織及培育人才	<ul style="list-style-type: none"> ■ 參考設施管理機關(構)之業務分配 ■ 調適專業組織建立在當前機關(構)業務分配不適用，故專注人才培育
4-5 <u>推動氣候調適跨域整合推動平台與機制，加強資訊共享</u>	14 建立氣候變遷調適跨域整合推動平台與機制，加強資訊共享	<ul style="list-style-type: none"> ■ 本計畫成果建議 ■ <u>調整用字為推動，鼓勵機關(構)可有彈性的執行此措施</u>
4-6 <u>辨識利害關係人並與其溝通或合作調適計畫</u>	15 針對利害關係人進行氣候變遷風險溝通	<ul style="list-style-type: none"> ■ 參考COP會議、ISO14090原則、韌性鐵路系統指南 ■ <u>利害關係人溝通或合作為提升調適計畫效益的重要作為，故補充合作</u>

4.5

調適措施

(1/9)

策略一

提升氣候衝擊耐受度

措施1-1：建立設施安全性與風險評估方法、風險基準並定期評估

- 設施管理機關(構)建立設施安全性評估方法並持續精進
- 設施管理機關(構)建立氣候變遷風險評估方法，訂定風險基準並持續精進
- 設施管理機關(構)於新建與改建評估設施安全性、風險等級與風險基準
- 設施管理機關(構)定期或於重大氣候事件衝擊後評估設施安全性與風險等級

措施1-2：檢討並將氣候調適概念納入規劃、設計、施工及養護相關規範與作業程序

- 設施管理機關(構)檢討並提高設施抗氣候變遷環境衝擊基準
- 設施管理機關(構)於規劃、設計、施工與養護相關規範或作業程序將氣候變遷情境、風險潛勢分析及模擬結果納入考量
- 設施管理機關(構)規劃階段評估氣候衝擊影響，考量未來環境變化

資料來源：公路總局、臺鐵局、行政院公共工程委員會

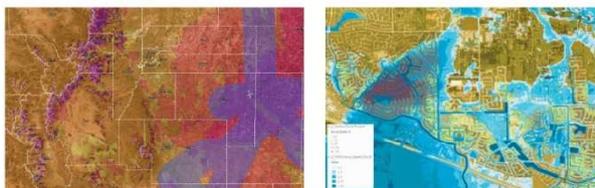
4.5
項
調
適
措
施

(2/9)

策略一

提升
氣候衝擊
耐受度**措施1-3：迴避高風險潛勢地區並考量周邊環境關係，持續發生受損阻斷之系統點位規劃改線、廢線**

- 設施管理機關(構)新建、改建選址迴避因氣候變遷造成高風險潛勢地區
- 設施管理機關(構)與周邊環境相關部會於設施建設時應考量與周邊環境關係，並視情況運用自然為本的調適方案



- 設施管理機關(構)之既有系統持續發生受損與阻斷路段，應規劃改線、廢線，提升路段耐受度

措施1-4：運用或研發有助提升衝擊耐受力之科技、材料、工程工法與設備

- 設施管理機關(構)進行國內外新技術的交流、授權或移轉
- 設施管理機關(構)運用或研發提升系統耐受度的新科技

資料來源：公路總局、臺鐵局、行政院公共工程委員會

4.5
項
調
適
措
施

(3/9)

策略二

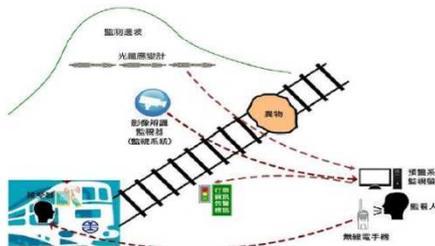
降低
氣候衝擊
脆弱度**措施2-1：檢討並調整氣候變遷環境下之風險監測**

- 設施管理機關(構)檢討及調整監測設施的設置點位與密度
- 設施管理機關(構)加強氣象相關資訊蒐集並應用微型氣象站蒐集更精確數據，提供降尺度數據之參考
- 設施管理機關(構)加強即時監控的涵蓋面
- 設施管理機關(構)提升監控精度



高鐵地面光達雷射掃描儀

- 取代傳統得靠人力監測的不便
- 旋轉鏡頭掃描數據，觀察沿線邊坡傾斜狀況



臺鐵邊坡自動化落石監測告警系統

- 以人工智慧即時影像辨識系統，監控易受衝擊或脆弱路段邊坡狀況，有異狀立即發出預警通知相關人員

資料來源：高鐵公司、臺鐵局

4.5 項調適措施

(4/9)

策略二

降低氣候衝擊脆弱度

措施2-2：加強跨運輸系統間的運輸連結性

【建議降低脆弱度】

- 強化防洪與透/排水能力
- 強化因應高溫衝擊能力
- 強化路基、橋梁耐沖蝕及淘刷能力
- 強化承受海水衝擊之能力
- 強化因應海平面上升之能力
- 強化易崩塌邊坡之坡面穩定度

【建議強化對象】

- 國道及快速公路交流道及其聯絡道路
- 鐵路車站聯外道路
- 機場及港口聯外道路
- 重大儲油/氣/水/電設施聯外道路



資料來源：新聞

4.5 項調適措施

(5/9)

策略二

降低氣候衝擊脆弱度

措施2-3：建立運輸系統設施的內部與外部備援方案

- 設施管理機關(構)研議運輸部門備援體系與運作機制
- 設施管理機關(構)規劃系統內部及外部跨系統的備援設施、替代路線（如國道與省道間的替代、航機轉降路線）替代運具，以及接駁運具等
- 設施管理機關(構)強化道路阻斷資訊與替代路線的資訊傳遞



資料來源：航港局、臺鐵局

4.5 項調適措施

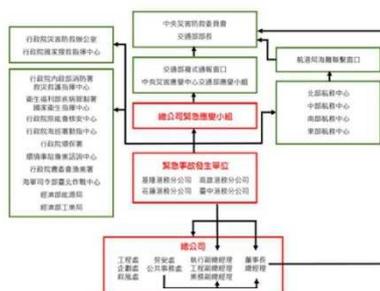
(6/9)

策略三

優化氣候衝擊反應力

措施3-1：建構跨運輸系統應變網絡

- 設施管理機關(構) **共享告警資訊**，以加強應變與橫向聯防
- 設施管理機關(構) **彙整國內各研發單位技術並與國外交流新技術**



措施3-2：建立分階段復建原則

- 設施管理機關(構) **依運輸系統設施地區回復程度建立分階段復建原則**
- 設施管理機關(構) **研議簡易修復相關規範**
- 設施管理機關(構) **掌握氣候衝擊大的路段且邊坡未完全穩定的路段**，透過資料之蒐集決定復建期程與工法
- 設施管理機關(構) **掌握氣候事件衝擊狀況**，提升決策效率

資料來源：科技產業政策白皮書、Horizon2020

4.5 項調適措施

(7/9)

策略四

建構氣候衝擊決策力

措施4-1：建立調適計畫投資決策評估方法

- 設施管理機關(構) **建立氣候變遷調適計畫的評估方法**並持續精進
- 設施管理機關(構)於 **預算申請時可準備計畫成本效益評估**做為佐證



措施4-2：建立調適計畫監控、評估與學習機制

- 設施管理機關(構) **評估與比較調適計畫執行前後之風險**
- 設施管理機關(構) **建立調適計畫監測、評估與學習機制**，持續回顧、回應與因應新的狀態、環境、方法與方案等，採用滾動學習與因應管理流程

資料來源：連研所

4.5 項調適措施

(8/9)

策略四

建構氣候衝擊決策力

措施4-3：建置氣候風險管理與調適計畫研擬所需資料庫及工具

- 為有效管理運輸系統設施於氣候變遷環境下的風險，設施管理機關(構)藉由風險評估規劃調適行動計畫，再利用計畫投資評估方法決策調適計畫
- 上述工作需大量資料做為基礎

措施4-4：推動氣候調適跨域整合推動平台與機制，加強資訊共享

- 交通部推動氣候變遷調適整合推動平台與機制，鼓勵機關(構)間資訊共享與調適業務相互協助
- 設施管理機關(構)、縣市政府與相關單位加強溝通及協調高淹水風險設施、跨運輸系統介面及重要維生基礎設施聯外/聯絡道路等周邊區域排水系統之檢討與強化

資料來源：運研所

4.5 項調適措施

(9/9)

策略四

建構氣候衝擊決策力

措施4-5：培育氣候變遷風險管理與調適專業人才

- 設施管理機關(構)參與國內與國際運輸部門氣候變遷調適議題研討交流
- 設施管理機關(構)建立氣候變遷調適人才培訓制度，分階段性培育人才
- 設施管理機關(構)視需要成立氣候變遷調適專責部門或單位

措施4-6：辨識利害關係人並與其溝通合作調適計畫

- 設施管理機關(構)辨識利害關係人
- 設施管理機關(構)建立雙向風險溝通與資訊教育機制
- 設施管理機關(構)建立利害關係人合作調適計畫機制



資料來源：Resilient Direct

05

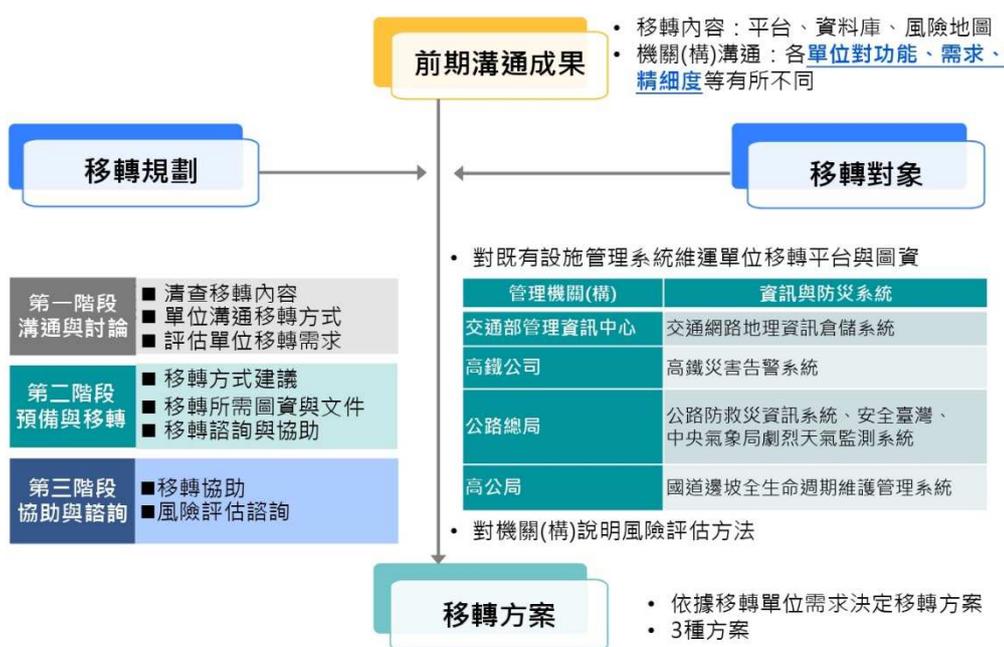
調適風險資訊移轉與平台維運

- 5.1 風險資訊移轉流程
- 5.2 風險資訊移轉方案
- 5.3 風險資訊移轉辦理
- 5.4 平台維運

5.1

風險資訊移轉流程

● 移轉規劃流程



5.2

風險資訊移轉方案

(1/5)

● 根據不同需求，提供不同移轉方案



5.2

風險資訊移轉方案

(2/5)

● 方案一：提供鐵路系統原始與成果圖資於GIS軟體查詢



圖資	類型	項目	子項	細項	檔案類型
原始資料	危害度	坡災潛勢圖			SHP
		淹水潛勢圖			
	脆弱度	調適能力	設施安全性	設施年期	Excel
			預警應變作為	邊坡分級	
		潛在影響程度	交通量	未來/現況	重點監控路段
基礎底圖	基礎底圖	里程	快速道路/省道/國道/高鐵/高鐵路車站/臺鐵/臺鐵車站	未來/現況	SHP/excel
		原始路線線型		產值	
		基礎底圖		未來/現況	
成果圖資	指標地圖	危害度	公路路段、鐵路路段與車站坡地災害圖	SHP	
		公路路段、鐵路路段與車站淹水潛勢圖			
	脆弱度	社經影響程度	快道、省道、國道交通量		
		產值	高鐵路、臺鐵路車站間量		
風險地圖	調適能力	快道、省道、國道、高鐵路、臺鐵路設施安全、替代道路數、監測路段	SHP		
		快速道路/省道/國道/高鐵路/臺鐵路/高鐵路車站/臺鐵路車站			

5.2

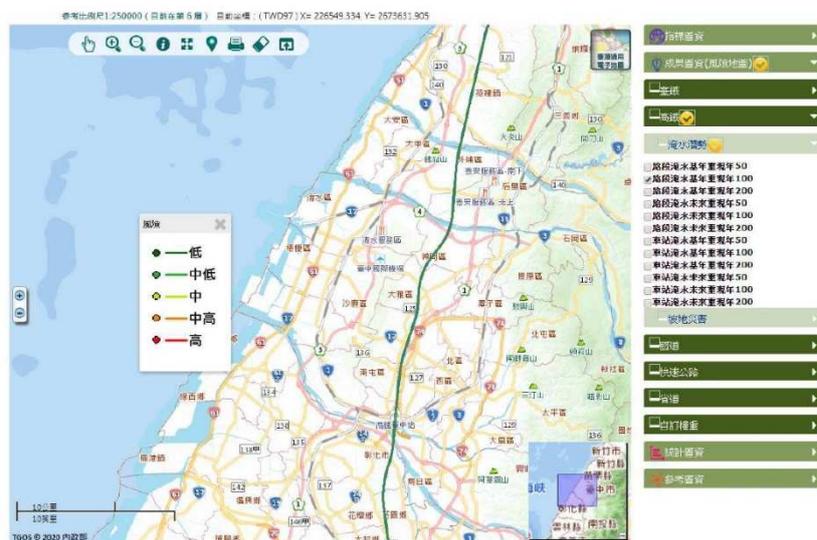
風險資訊移轉方案

(3/5)

● 方案一：風險圖資鑲嵌在既有平台

■ 於既有圖台，快速鑲嵌圖資

- 將圖資與屬性匯入資料庫
- 調整網頁介面
- 將圖資顯示於平台上



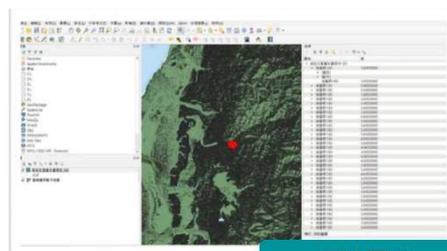
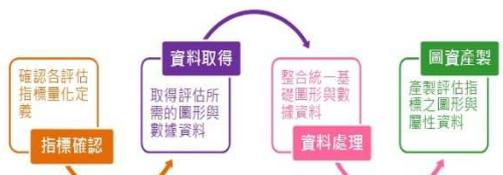
5.2

風險資訊移轉方案

(4/5)

● 方案二：圖資及評估技術移轉

- 提供風險地圖處理與更新方式
- 提供專案授課
- 提供技術諮詢



原始圖資



風險地圖更新方式



風險地圖處理流程

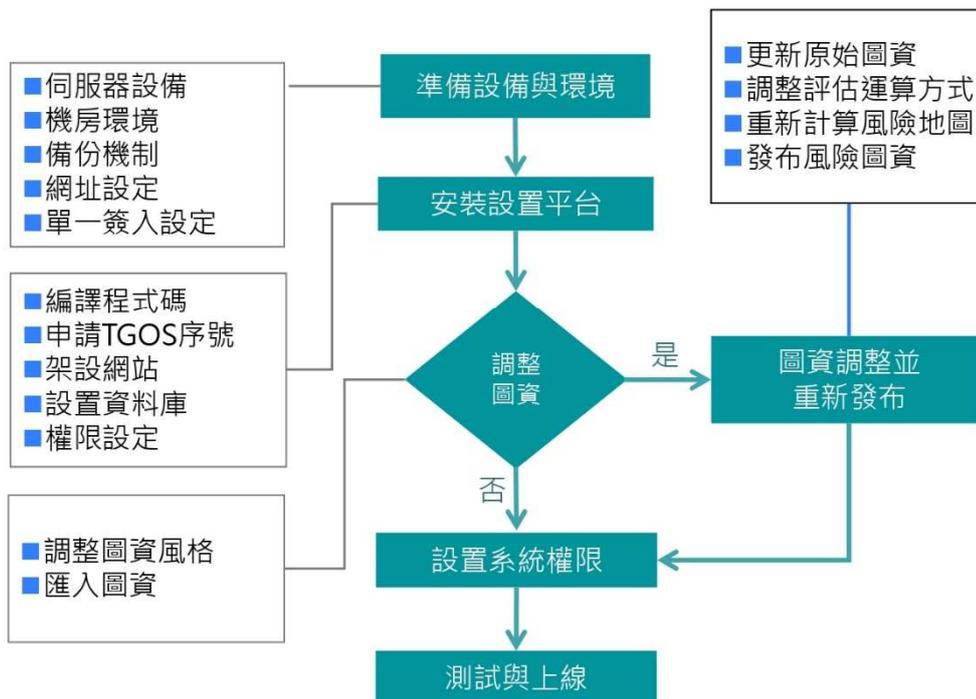
風險地圖欄位對照表

5.2

風險資訊移轉方案

(5/5)

● 方案三：平台移轉建議流程



5.3

風險資訊移轉辦理

● 風險資訊移轉機關(構)選取方案與成果

單位	選擇方案	意見
高公局	方案一	本局有更精細的救災風險資訊系統， 光碟的風險資訊做參考用
公路總局	方案一	本局有更即時的風險資訊系統， 光碟的風險資訊做參考用
臺鐵局	方案一	已提供給 邊坡系統維運廠商參考納入邊坡管理系統
鐵道局	方案一	本局無營運鐵道營運，光碟已存檔並 做為後續新路線規劃參考
高鐵公司	方案二	針對風險計算方式說明 ，以利技術移轉。

■ 109年11月6日前，已完成各單位之風險資訊移轉輔導作業

- 已向選擇方案一的機關確認風險地圖的開啟與使用上皆無問題
- 已至高鐵公司教學風險評估指標、評估方法與圖資處理及計算

5.4 平台維運

● 鐵公路氣候變遷調適資訊平台更新與維運事項



06 結論與建議

6.1 結論
6.2 建議

6.1 結論

國際社會日趨重視氣候變遷調適，強調調適預算與資金需與國內預算籌編、監控調適計畫與維持計畫彈性、加強利害關係人參與等

國際標準化組織發布ISO14090，該標準說明組織調適需注意之事項與工作以及如何將調適思維與措施導入組織與跨組織

綜理國內外應用新科技於鐵路系統調適之案例，顯示數位科技為系統用於輔助提升設施衝擊耐受力及降低脆弱度的作為

108年研擬的調適策略符合設施管理機關(構)需要，惟為接軌國際趨勢及因應機關(構)意見，研訂109年新版調適策略，新架構更符合調適目標與需求

依《溫管法》規定，脆弱度評估回歸由設施管理機關辦理，故移轉風險資訊，鐵路設施管理機關(構)均已於109年11月6日前完成風險資訊移轉

6.2 建議

氣候變遷調適工作與研究議題推動建議

- 調適預算於部會中長期預算籌編，爭取足夠資金推動調適計畫優先事項
- 深化機關(構)對調適與系統韌性的認識
- 運輸系統調適策略推動引導
- 訂定風險評估方法、風險基準並定期評估
- 檢討與修訂運輸系統設施規劃、設計、施工及養護相關規範
- 加強推動跨部門整合與資訊共享
- 訂定調適行動計畫並建立調適行動計畫之監控、評估與學習機制
- 善用數位科技輔助提升調適能力
- 研議海空運風險評估方法
- 氣候衝擊資料的盤點與掌握
- 運輸系統備援體系與運作機制
- 運輸系統氣候變遷調適計畫投資評估方法
- 調適研究資料共享與互惠

THANKS

簡報結束 · 敬請指教



ISBN 978-986-531-312-8



9 789865 313128

GPN : 1011000968
定價 360 元