113-067-6221
IOT-112-TCF003

公路系統因應氣候變遷強化調適能力案例研析

交通部運輸研究所

中華民國 113 年 10 月

113-067-6221
IOT-112-TCF003

公路系統因應氣候變遷強化調適能力案例研析

著者：吳清如、吳柏萱、林真德、孫玉慈、童新茹
朱珮芸、鄔德傳、賴宜弘、蕭為元、楊家銘

交通部運輸研究所

中華民國 113 年 10 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

公路系統因應氣候變遷強化調適能力案例研析 / 吳清如, 吳柏萱, 林真德, 孫玉慈, 童新茹, 朱珮芸, 鄔德傳, 賴宜弘, 蕭為元, 楊家銘著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 113.10

面; 公分

ISBN 978-986-531-625-9(平裝)

1.CST: 交通管理 2.CST: 運輸系統

557.15 113015497

公路系統因應氣候變遷強化調適能力案例研析

著　　者：吳清如、吳柏萱、林真德、孫玉慈、童新茹、朱珮芸、鄔德傳、賴宜弘、蕭為元、楊家銘

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 113 年 10 月

印 刷 者：全凱數位資訊有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 65 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科技及資訊組・電話：(02)2349-6789

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

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

GPN：1011301419　　ISBN： 978-986-531-625-9（平裝）

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

<table>
<tr><td colspan="4">出版品名稱：公路系統因應氣候變遷強化調適能力案例研析</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）
ISBN978-986-531-625-9(平裝)</td><td>政府出版品統一編號
1011301419</td><td>運輸研究所出版品編號
113-067-6221</td><td>計畫編號
112-TCF003</td></tr>
<tr><td>本所主辦單位：運輸能源及環境組
主管：朱珮芸
計畫主持人：朱珮芸
研究人員：鄔德傳、賴宜弘、蕭為元、楊家銘
聯絡電話：02-2349-6872
傳真號碼：02-2712-0223</td><td colspan="2">合作研究單位：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：吳柏萱、林真德、孫玉慈、童新茹
地址：110 臺北市信義區松山路 130 號 5 樓
聯絡電話：(02)27488822</td><td>研究期間
自 112 年 3 月
至 112 年 12 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：氣候變遷因應法、氣候變遷調適、運輸系統、公路系統、案例研析</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：

為強化各領域因應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》，並於 112 年 2 月公布修正為《氣候變遷因應法》，其中，第 19 條明定中央目的事業主管機關應就易受氣候變遷衝擊之權責領域，訂定四年為一期之該領域調適行動方案，以因應氣候變遷下全球暖化衝擊。

各運輸次系統中以公路與民眾生活最息息相關。公路規劃係依循相關法規及規範辦理，惟公路規劃機制及規範於氣候變遷情境下極端事件之調適仍有不足之虞，若公路系統規劃階段能融入氣候變遷調適理念，將有效提升面臨未來極端事件之因應能力。

承上，本所於前期計畫已研擬「公路系統規劃階段調適指引」文本，為期進一步引導公路設施權責主管機關具體落實應用，本計畫持續蒐集與研析調適實務案例，提供公路設施權責主管機關參考，俾利其強化公路系統規劃設計及管理，提升公路系統調適能力；同時辦理公路調適專業知識教育訓練，以利國內調適相關業務之推動。</td></tr>
</table>

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
113 年 10 月	304	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: Case Studies of Enhancing Highway System's Adaptive Capacity to Climate Change			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-531-625-9(pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011301419	IOT SERIAL NUMBER 113-067-6221	PROJECT NUMBER 112-TCF003

DIVISION: Transportation Energy and Environment Division
DIVISION DIRECTOR: Pei-Yun Chu
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Pei-Yun Chu
PROJECT STAFF: Deh-Juan Wu, I-Hung Lai, Wei-Yuan Hsiao, Chia-Ming Yang
PHONE: 886-2-23496872
FAX: 886-2-27120223

PROJECT PERIOD

FROM March 2023
TO December 2023

RESEARCH AGENCY: THI Consultants lnc.
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ching-Ru Wu
PROJECT STAFF: Bo-Syuan Wu, Jhen-De Lin, Yu-Ci Sun, Hsin-Ju Tong
ADDRESS: 5F, No. 130, Sung-Shan Road, Taipei, Taiwan, R.O.C.
PHONE: 886-2-27488822

KEY WORDS: Climate Change Response Act, climate change adaptation, transportation system, highway system, case study

ABSTRACT:

To strengthen Taiwan's resilience to climate change, the "Greenhouse Gas Reduction and Management Act" ratified in July 2015 and the amendment to the "Climate Change Response Act" announced in February 2023, of which Article 19 requires the central industry's competent authorities to formulate and revise the Adaptation Action Programs for particular sectors, by corresponding sectors vulnerable to climate change impacts. The Adaptation Action Programs should be four years in each sector.

Among the entire transportation system, road systems are the most closely related to people's daily lives. However, existing planning mechanisms and associated specifications of road infrastructure have not adequately considered climate change adaptation. If the concept of climate change adaptation can be incorporated into the road infrastructure planning stages, its ability to respond to extreme weather events will be effectively enhanced.

Therefore, the Institute of Transportation（Ministry of Transportation and Communications）has developed the "Climate Change Adaptation Guidelines for Highway Systems in the Planning Phase." This project aims to collect and analyze practical cases of adaptation as a reference, to guide the competent authorities in charge of highway facilities to implement their applications. Besides, training sessions were held to strengthen the competent authorities in charge of highway facilities to improve the highway system's adaptive capacities. This project also compiled an adaptation outcome report and capacity building report of the critical infrastructure field.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE
October 2024	304	360

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

目錄

第一章 緒論 1-1

1.1 計畫緣起與目的 1-1

1.2 工作項目 1-3

1.3 研究範圍 1-4

1.4 計畫流程 1-5

1.5 報告章節架構 1-6

1.6 報告名詞與定義 1-7

第二章 運輸系統調適發展趨勢 2-1

2.1 前期計畫回顧 2-1

2.1.1 調適系列研究計畫 2-1

2.1.2 前期計畫成果—110 至 111 年計畫重點摘述 2-3

2.2 國際因應氣候變遷調適趨勢 2-10

2.2.1 國際氣候變遷調適新趨勢 2-10

2.2.2 國際氣候變遷調適標準 2-15

2.2.3 國內可借鏡處 2-24

2.3 運輸系統強化調適能力之作為 2-26

2.3.1 先進國家運輸系統調適策略及措施 2-26

2.3.2 運輸系統調適選項 2-35

2.3.3 國內可借鏡處 2-52

2.4 新科技應用於運輸系統調適情形 2-54

2.4.1 前期計畫回顧 2-54

2.4.2 近期運輸系統調適新科技應用案例 2-57

2.4.3 小結 2-67

第三章 公路規劃階段調適案例蒐集與研析 3-1

3.1 公路規劃階段調適案例蒐集與重點摘錄 3-1

3.1.1 公路規劃階段調適案例蒐集範疇界定 3-1

3.1.2 公路規劃階段調適案例清單及重點摘錄 3-3

3.1.3 公路規劃階段調適案例初步分析 3-11

3.2 公路規劃階段調適重要案例研析 3-12
3.2.1 美國聯邦公路管理局（FHWA）沿海公路調適案例 3-12
3.2.2 荷蘭交通水利管理局（RWS）內陸公路調適案例 3-25
3.2.3 美國奧勒岡州運輸部（ODOT）山區公路調適案例 3-33
3.2.4 臺灣桃園國際機場第三跑道及基礎設施綜合規劃 3-43
3.3 案例可借鏡之處 3-49
第四章 公路規劃調適指引檢討及推動配套 4-1
4.1 指引滾動檢討作業流程 4-1
4.2 機關交流及專家深度訪談 4-3
4.2.1 交流訪談計畫概述 4-3
4.2.2 公路主管機關及專家意見摘錄 4-6
4.2.3 其他領域機關意見摘錄 4-8
4.3 示範案例演示及專家工作坊辦理 4-10
4.3.1 示範案例演示 4-10
4.3.2 專家工作坊辦理 4-11
4.3.3 示範案例操作之重要發現 4-13
4.4 指引修訂意見彙整及檢討 4-15
4.4.1 前期指引架構及內容概述 4-15
4.4.2 指引修訂意見歸納及處理 4-20
4.4.3 指引改版前後重要差異說明 4-24
4.5 指引後續推動建議 4-28
第五章 公路規劃階段調適示範案例演示 5-1
5.1 示範案例演示作業流程 5-1
5.2 示範案例演示成果 5-3
5.3 示範案例演示發現 5-25
第六章 結論與建議 6-1
6.1 結論 6-1
6.2 建議 6-6
參考文獻 參-1

附錄 1 計畫摘要

附錄 2 審查意見辦理情形

附錄 3 成果投稿

附錄 4 成果海報

附錄 5 計畫簡報

表目錄

表 2.2-1 ISO 近 5 年「氣候變遷調適」相關標準 2-16
表 2.4-1 鐵公路調適新科技應用之優缺點與國內適用性（前期計畫彙整） 2-54
表 3.1-1 氣候變遷情境選擇參考案例彙整表 3-4
表 3.1-2 氣候變遷風險評估參考案例彙整表 3-6
表 3.1-3 氣候變遷調適選項參考案例彙整表 3-8
表 3.2-1 未來氣候情境下的洪水位對照表 3-14
表 3.2-2 NBI 代碼分級對照表 3-15
表 3.2-3 NBI 代碼與淹沒風險對照表 3-15
表 3.2-4 易受風暴潮影響的區域 3-17
表 3.2-5 研究區域潛在調適選項範例表 3-23
表 3.2-6 應對主要氣候風險之可能的調適措施列表 3-30
表 3.2-7 降雨量分析示例表（Gallagher Slough / RCP8.5） 3-36
表 3.2-8 奧勒岡州海平面上升預測 3-36
表 3.2-9 高速公路脆弱度評估標準 3-39
表 3.2-10 Falcon Cove 調適選項成本效益分析表 3-41
表 3.2-11 機場公司氣候變遷風險議題及分類表 3-45
表 3.2-12 機場公司氣候變遷風險之影響與因應措施彙整表 3-46
表 4.2-1 訪談交流對象相關資訊彙整表 4-5
表 4.2-2 訪談重點彙整表 4-6
表 4.2-3 跨領域機關調適指引重點彙整表 4-8
表 4.3-1 專家工作坊參與人員相關資訊彙整表 4-12
表 4.3-2 工作坊討論意見重點彙整表 4-14
表 4.4-1 前期指引架構及內容說明表 4-15
表 4.4-2 指引修正意見暨處理情形一覽表 4-22
表 4.4-3 改版前後各章節重要差異對照表 4-25
表 5.2-1 過往氣候與環境變異資料彙整表 5-8
表 5.2-2 河川斷面基礎資訊彙整表 5-9
表 5.2-3 未來氣候變遷推估資料彙整表 5-12
表 5.2-4 曾文溪橋新建計畫氣候變遷資料蒐集分析資訊綜理表 5-17

表 5.2-5　曾文溪橋路廊潛在氣候變遷風險說明表 5-20
表 5.2-6　可能性與嚴重性參考基準表 5-20
表 5.2-7　風險等級矩陣 5-21
表 5.2-8　曾文溪橋路段氣候變遷風險評估表 5-22

圖目錄

圖 1.4-1　計畫工作流程 1-5
圖 2.1-1　本所歷年氣候變遷調適系列研究計畫 2-3
圖 2.1-2　公路系統規劃作業流程融入調適理念之框架 2-4
圖 2.1-3　「資料蒐集分析」階段納入調適作業流程 2-5
圖 2.1-4　「方案研擬與評估」階段納入調適作業流程 2-5
圖 2.1-5　「工程研究與評估」階段納入調適作業流程 2-6
圖 2.1-6　公路系統規劃階段流程 2-8
圖 2.1-7　「公路系統規劃階段調適指引」之章節架構 2-9
圖 2.2-1　氣候變遷減緩及調適行動兩者屬性差異、綜效及交易機制 2-14
圖 2.2-2　完善調適規劃應考量之要素 2-15
圖 2.2-3　ISO14090 架構示意圖 2-18
圖 2.2-4　ISO 14091 架構示意圖 2-19
圖 2.2-5　ISO 14092 架構示意圖 2-21
圖 2.2-6　ISO 14093 架構示意圖 2-23
圖 2.3-1　氣候變遷對維生基礎設施的威脅 2-27
圖 2.3-2　愛爾蘭的氣候變遷調適計畫體系示意圖 2-28
圖 2.3-3　愛爾蘭運輸部門氣候變遷調適策略研擬流程 2-28
圖 2.3-4　紐西蘭交通部氣候變遷調適策略 2-35
圖 2.3-5　以自然為本生態元素與結構元素之風險程度適用性 2-38
圖 2.3-6　植被示意圖 2-38
圖 2.3-7　防波堤示意圖 2-39
圖 2.3-8　海欄示意圖 2-39
圖 2.3-9　袋狀海灘示意圖 2-40
圖 2.3-10　養灘示意圖 2-40
圖 2.3-11　沙丘示意圖 2-40
圖 2.3-12　從氣候風險到調適執行的過程 2-41
圖 2.3-13　將氣候調適措施的成本效益概念納入運輸規劃各階段 2-42
圖 2.3-14　海島國家應用調適方法以降低沿海地區氣候風險 2-46
圖 2.3-15　美國以自然為本的解決方案路線圖 2-48

圖 2.3-16 運輸中以自然為本的解決方案之特點 2-50
圖 2.4-1 無人機拍攝之橋梁劣化影像 2-58
圖 2.4-2 橋梁劣化影像 AI 分析功能 2-58
圖 2.4-3 自動氣象站示意圖 2-59
圖 2.4-4 「富玉攻頂一號」結構及檢測項目 2-60
圖 2.4-5 「富玉攻頂一號」檢測畫面示意圖 2-60
圖 2.4-6 GIMS 邊坡監測系統 2-61
圖 2.4-7 臺鐵影像拍攝平車 2-62
圖 2.4-8 軌道構件自動辨識畫面 2-62
圖 2.4-9 隧道掃描車運作示意圖 2-63
圖 2.4-10 隧道襯砌掃描車拍攝影像示意圖 2-63
圖 2.4-11 樟宜機場管理平台顯示排水溝狀態 2-64
圖 2.4-12 樟宜機場排水監測系統 2-64
圖 2.4-13 瞬時降雨強度感測器分布示意圖 2-65
圖 2.4-14 智慧巡檢服務平台 2-66
圖 2.4-15 無人機載具作業示範 2-67
圖 3.2-1 研究區域：拉里坦灣南岸 3-13
圖 3.2-2 2016 年（基準年）橋梁淹沒風險 3-16
圖 3.2-3 高海平面上升情境下 100 年頻率風暴事件風暴潮淹水深度 3-18
圖 3.2-4 歷史災害事件影響區位 3-19
圖 3.2-5 可能受風暴潮影響的環境正義社區和運輸設施 3-21
圖 3.2-6 A58 高速公路及 InnovA58 計畫範圍 3-26
圖 3.2-7 ROADAPT 方法架構 3-27
圖 3.2-8 ROADAPT 快速掃描評估方法 3-28
圖 3.2-9 InnovA58 氣候風險矩陣 3-28
圖 3.2-10 InnovA58 可能因暴雨遭受洪水災害的脆弱地點 3-29
圖 3.2-11 InnovA58 調適（政策）路徑 3-31
圖 3.2-12 ODOT 脆弱度評估方法 3-33
圖 3.2-13 奧勒岡州北海岸公路段受到氣候災害衝擊 3-34
圖 3.2-14 冬季平均總降雨量變化量示例圖 3-35
圖 3.2-15 生命線公路分級圖 3-37

圖 3.2-16 氣候相關事件紀錄災點 3-37
圖 3.2-17 降雨量與高速公路氣候事件比較 3-38
圖 3.2-18 高速公路脆弱度圖 3-39
圖 3.2-19 研究路廊示範地點 3-40
圖 3.2-20 桃園地區降雨量未來推估趨勢 3-44
圖 3.2-21 機場公司氣候變遷風險之衝擊 3-45
圖 3.2-22 機場第三跑道防洪排水規劃策略圖 3-48
圖 4.1-1 「公路系統規劃階段調適能力指引」滾動檢討作業流程圖 4-2
圖 5.1-1 示範案例演示作業流程圖 5-2
圖 5.2-1 案例區位圖 5-4
圖 5.2-2 案例路線示意圖 5-4
圖 5.2-3 專家工作坊照片 5-7
圖 5.2-4 歷史災害與災害潛勢圖 5-9
圖 5.2-5 過去 50 年年累積雨量觀測值 5-10
圖 5.2-6 臺南測站過去 50 年年均溫觀測距平值 5-10
圖 5.2-7 臺南測站過去 50 年高溫大於 35˚C 日數 5-10
圖 5.2-8 臺南沿海颱風風速、暴潮與風浪現況 5-11
圖 5.2-9 極端降雨事件（650mm/24hr）發生機率（危害度等級） 5-13
圖 5.2-10 年最大日降雨量變化率 5-13
圖 5.2-11 曾文溪流域集水區世紀中前 30%事件各延時累積雨量變化率 5-14
圖 5.2-12 年最大日高溫變化量 5-14
圖 5.2-13 極端高溫持續指數（HWDI）變化量 5-15
圖 5.2-14 海平面上升溢淹推估圖 5-15
圖 5.2-15 臺南沿海颱風風速、暴潮與風浪世紀末推估 5-16
圖 5.2-16 氣候衝擊鏈 5-18

第一章 緒論

1.1 計畫緣起與目的

1. 計畫緣起

自 18 世紀工業革命以來，全球社會、經濟、科技及交通快速發展，人類活動使用大量的煤炭、石油等化石燃料，使大氣中的溫室氣體逐年增加，形成全球暖化現象。而因全球暖化所導致的氣候變遷現象，例如高溫、乾旱、強降雨之頻率與強度增加，帶來的衝擊與影響愈顯嚴重。

為強化各領域因應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》（以下簡稱《溫管法》）並於 112 年 2 月公布修正為《氣候變遷因應法》[1]（以下簡稱《氣候法》），其中，第 19 條明定中央目的事業主管機關應就易受氣候變遷衝擊之權責領域，訂定四年為一期之該領域調適行動方案，以因應氣候變遷下全球暖化衝擊。

此外，環境部依循 106 年 2 月行政院核定的《國家因應氣候變遷行動綱領》[2]之指導，分就八大調適領域彙整研提《國家氣候變遷調適行動方案（107—111 年）》[3]，其中，運輸系統之調適行動計畫係屬「維生基礎設施領域」調適之一環。而新一期《國家氣候變遷調適行動計畫（112—115 年）》[4]（以下簡稱《調適行動計畫（112-115 年）》）於 111 年提報行政院，期間因應《氣候法》條文修訂之法定工作，辦理 3 場公聽會並汲取社會大眾意見辦理修正，於 112 年 10 月 4 日奉行政院核定，後續將透過每年執行成果編寫成果報告，並落實資訊公開及踐行公眾參與程序。

各運輸次系統中尤以公路系統與民眾之生活最為息息相關。我國之公路系統規劃係依循相關法規及規範辦理，惟既有之公路系統規劃機制及相關規範對於氣候變遷調適之考量仍有不足之虞，公路系統一旦營運中斷對於經濟與民生之衝擊不言可喻。交通部運輸研究所（以下簡稱本所）於前期計畫已研擬「公路系統規劃階段調適指引」文本，為期進一步引導公路設施權責主管機關具體落實應用，本計畫擬持續蒐集與研析調適實務案例，提供公路設施權責主管機關參考，俾利其強化公路系統規劃設計及管理，提升公路系統調適能力。

2. 計畫目的

綜上，本計畫之主要目的如下：

(1) 針對公路系統強化調適能力案例進行蒐集與研析，研究成果可提供公路設施權責主管機關參考應用。

(2) 將提供公路系統於規劃階段之調適指引應用建議予公路設施權責主管機關參考，俾利其務實檢視與調整規劃設計階段之相關法規或規範，強化公路系統整體調適能力。

1.2 工作項目

本計畫之工作項目如下：

1. 蒐集國內外運輸系統氣候變遷調適相關文獻，研析運輸系統調適發展方向及趨勢，包含運輸系統強化調適能力、新科技應用調適情形、調適選項（如自然為本解決方案）等，並提出應用建議。
2. 公路系統規劃階段調適指引實務應用案例蒐集與研析。
   (1) 依公路系統規劃階段調適指引架構及作法，蒐集國內外公路系統強化調適能力相關案例。
   (2) 進行案例特性分析或探討其作法，提出可供國內參採之應用建議。
3. 與公路設施管理機關進行溝通交流（訪談或會議等形式），針對重要課題與國內外實務案例分析成果進行意見交流，以及討論強化調適指引應用。
4. 依前述文獻回顧、案例蒐集、研析並與相關機關(構)溝通交流，滾動檢討公路系統規劃階段調適指引。
5. 彙整及檢討 111 年維生基礎設施調適成果報告。
6. 配合環境部規劃，辦理《調適行動計畫（112-115 年）》之行動計畫滾動檢討。
7. 規劃及辦理公路系統規劃階段調適指引應用教育訓練，內容包含：
   (1) 公路系統規劃階段調適指引。
   (2) 公路系統規劃階段調適指引應用案例（包含調適選項，如自然為本解決方案，以及新科技應用等發展趨勢）。
8. 將本期研究/計畫成果投稿運輸計劃季刊、國內外期刊或學術研討會(112 年 12 月 7~8 日)，發表題目為：「公路系統規劃階段融入氣候變遷調適考量之框架」，並獲推薦至期刊，以及優秀論文海報發表(詳附錄 3)。
9. 針對計畫重要成果，製作海報及簡報電子檔(詳附錄 4)。

1.3 研究範圍

本計畫主要工作項目之研究範圍界定如下：

1. 有關「蒐集國內外運輸系統氣候變遷調適相關文獻」工作項目：研究範圍延續前期調適系列研究之設定，考量運輸系統設施範疇包含重大鐵公路（含國道、快速道路、省道、高速鐵路、臺鐵）、商港以及國際機場等次系統，相關研究成果可供各運輸系統設施權責機關（構）辦理調適業務之參考應用。

2. 有關「公路系統規劃階段調適指引實務應用案例蒐集與研析」工作項目：本項工作主要係依據公路系統規劃階段調適指引架構及作法，蒐集國內外公路系統強化調適能力相關案例。進一步界定研究範圍如下：

   (1) 「公路系統」係指國道、快速公路以及省道等公路系統；

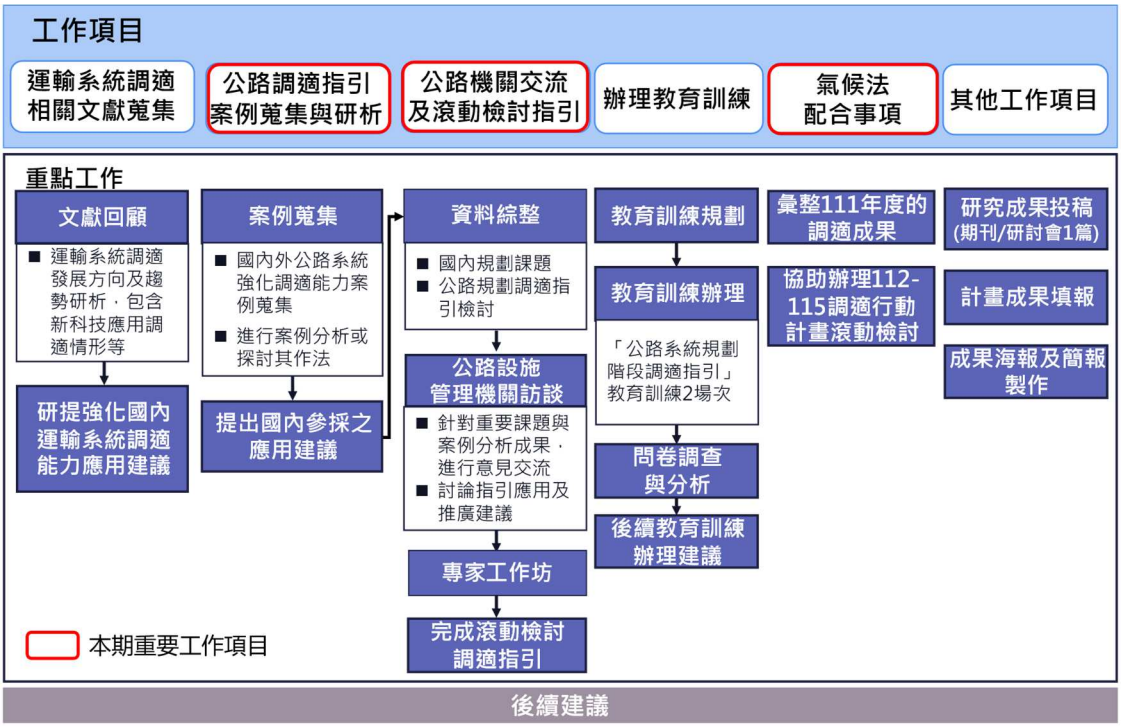
   (2) 「規劃階段」係指路線可行性研究（或先期規劃）階段以及綜合規劃階段。

1.4 計畫流程

本計畫的工作項目包含：(1) 運輸系統調適相關文獻蒐集、(2) 公路調適指引案例蒐集與研析、(3) 與公路機關(構)及國內主要工程顧問公司交流及滾動檢討指引、(4) 辦理教育訓練、(5) 氣候法配合事項、(6) 其他工作項目，包含研究成果投稿及其他配合事項等。

本計畫於期中階段，主要蒐整國內外公路調適能力案例進行研析，並透過公路設施管理機關及公路專家訪談進行溝通及交流，針對公路系統規劃階段調適能力指引所面臨的國內調適推動課題與國內外實務案例進行討論，初步研提國內公路強化調適指引應用建議。

本計畫於期末階段，完成公路系統規劃階段調適指引案例實證研究、檢討 111 年「公路系統規劃階段調適指引」，並透過辦理專家工作坊廣邀公路專家及機關代表共同討論以整合各單位對指引之建議，以進一步強化指引內容，同時結合計畫成果製作海報與發表研究成果。計畫期間將配合辦理《氣候法》第 19 條等相關規定之事項。計畫整體工作流程如圖 1.4-1。



資料來源：本計畫繪製。

圖 1.4-1 計畫工作流程

1.5 報告章節架構

本報告章節編製如下：第一章為緒論（即本章）；第二章為運輸系統調適發展趨勢，內容包含前期計畫回顧、國際因應氣候變遷調適趨勢、運輸系統強化調適能力之作為（包含調適選項），以及新科技應用於運輸系統調適情形；第三章為公路規劃階段調適案例蒐集與研析，包含公路規劃階段調適案例蒐集與重點摘錄、公路規劃階段調適重要案例研析，並提出國內可借鏡處（包含應用建議）；第四章為公路規劃調適指引檢討及推動配套，包含公路調適指引檢討作業流程、機關交流及專家深度訪談、示範案例演示及專家工作坊辦理、公路調適指引檢討重點，並提出指引後續推動建議；第五章為公路系統規劃階段調適示範案例，包含研究示範案例作業流程、案例演示成果及發現；最後，於第六章說明本計畫結論與建議。

1.6 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 2012 年出版的《促進氣候變遷調適之風險管理－針對極端事件及災害報告（Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, SREX）》、2014 年出版之第五次評估報告（the IPCC's Fifth Assessment Report, AR5）、2022 年出版之第六次評估報告（the IPCC's Sixth Assessment Report , AR6）、《氣候變遷因應法》（以下簡稱氣候法）以及行政院環境部於 112 年 3 月出版之《氣候變遷專有名詞手冊》。

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。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（AR5：綜合總結報告第 119 頁）。

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（AR5：綜合總結報告第 120 頁）。

3. 極端氣候（Climate extreme）

原稱為極端天氣事件及極端氣候事件（Extreme Weather or Climate Event），有三種定義方式，一是當氣候數值高於或低於門檻值的事件，二是該氣候數值達特定絕對值（例如：危險標準），或可定義為該事件發生的可能性或頻率極低。

極端天氣事件和極端氣候事件可透過特定的時間尺度區別，極端天氣事件發生的時間範圍介於一天內到幾周；極端氣候事件則發生在更長的時間尺度，且可以是幾個（極端或非極端）天氣事件的累積（例如，一個季節內累

積數日低於平均降雨量的天氣事件而導致乾旱)(SREX：第 116 頁及第 117 頁)。

4. 氣候變遷調適（Climate change adaptation）

指人類與自然系統為回應實際、預期氣候變遷風險或其影響之調整適應過程，透過建構氣候變遷調適能力並提升韌性，緩和因氣候變遷所造成之衝擊或損害，或利用其可能有利之情勢(《氣候法》第 3 條)。

例如，因應上述氣候變遷風險，預計採取路段預警性封閉措施，並研擬區域道路交通改道計畫；同時，依據未來氣候變遷情境展開氣候變遷風險評估作業，依據風險評估結果研擬調適選項，展開各橋梁的改建評估，並研擬相關配套措施及後續檢討機制。

5. 氣候變遷風險（Climate change risk）

指氣候變遷衝擊對自然生態及人類社會系統造成的可能損害程度。氣候變遷風險的組成因子為氣候變遷危害、暴露度及脆弱度(《氣候法》第 3 條)。

例如，因氣候變遷導致極端降雨（危害)，造成位於土石流潛勢區（脆弱度)，交通量大之唯一聯外道路（暴露度）面臨極高的氣候衝擊「風險」（危害、暴露度及脆弱度的交集)，包括系統本身毀損的風險（直接風險)，及系統聯外運輸功能中斷的風險，導致居民經濟受損的風險（間接風險)。

6. 危害（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（AR5：綜合總結報告第 124 頁)。

例如，發生極端高溫、強降雨事件可能造成山區土石崩塌，造成公路系統損壞。

7. 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（AR5：綜合總結報告第 123 頁)。

例如，既有道路的交通量，抑或是規劃新建中的重要聯外道路、轉運場站等。

8. 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（AR5：綜合總結報告第 128 頁）。

例如，某公路的部分路段位於土石流潛勢區，表該路段於土石流危害中的「脆弱度」

9. 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（AR5：綜合總結報告第 118 頁）。

例如，公路主管機關（或系統）具有評估、治理氣候變遷風險的能力、機制、工具、經費、人力等。

10. 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，且結果有不確定的可能性（AR5：綜合總結報告第 127 頁）。

11. 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(AR5：綜合總結報告第 127 頁）。

12. 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（AR5：綜合總結報告第 127 頁）。

13. 衝擊（Impacts）

與氣候相關的風險對自然與人為系統產生的影響或後果，其衝擊可能是不利或有利的（《氣候變遷專有名詞手冊》第 13 頁）。

14. 氣候壓力（Climatic impact-drive）

指影響社會或生態系統要素的物理性氣候系統條件（例如平均值、事件或極端值）。根據系統的容忍度，氣候壓力及其變化對於每一個跨相互作用的系統要素和區域（each across interacting system elements and regions），可

能有不利的、有利的、中性的或兩者混合的影響（AR6：總結報告附件第 122 頁）。

15. 情境（Scenario）

對於未來將如何發展的一種合理的描述。情境是基於對於關鍵驅動力（例如技術變革率、價格）的一套連貫且具內部一致性的假設。但要注意的是，情境既不是預測（predictions）也不是預報（forecasts），而是用來提供對發展和行動所產生的可能後果的預視（AR6：總結報告附件第 128 頁）。

16. 風險評估（Risk assessment）

對於風險進行定性或定量的科學估計（AR6：衝擊、調適與脆弱度第 2921 頁）。

17. 調適選項（Adaptation options）

一系列可用於調適的策略和措施，其涵括廣泛的行動（actions），可分為結構的、制度的、生態的或行為上的行動（AR6：衝擊、調適與脆弱度第 2898 頁）。

18. 調適路徑（Adaptation pathways）

自然或人類系統向未來狀態的時間演化。路徑概念為從一定量和定性場景或潛在未來情境，到以解決方案為導向的決策過程，用以實現理想的社會目標。路徑方法通常側重於生物物理學、技術經濟或社會行為軌跡，並涉及不同規模的各種動態、目標和參與者（《氣候變遷專有名詞手冊》第 19 頁）。

19. 以自然為本的解決方案（Nature-based Solutions, NbS）

國際自然保育聯盟（The International Union for Conservation of Nature, IUCN）將 NbS 定義為：「可以有效且調適應對社會挑戰，提供永續管理及保護或復育自然之行動，進而為人類福祉及生物多樣性帶來效益」（《以自然為本的解決方案應對全球社會挑戰》第 5 頁）。

第二章 運輸系統調適發展趨勢

本章旨在蒐集與研析國內外運輸系統調適相關文獻，以利後續提供國內各運輸系統設施權責機關（構）辦理調適業務之參考。

以下內容計分為 4 節，各節之主題依序為 2.1 節前期計畫回顧；2.2 節國際因應氣候變遷調適趨勢；2.3 節運輸系統強化調適能力之作為；最後，2.4 節為新科技應用於調適情形說明。

2.1 前期計畫回顧

本節回顧過往調適系列研究計畫，並摘要說明 110 至 111 年公路系統規劃階段強化調適能力之探討(1/2)及公路系統規劃階段強化調適能力之探討（2/2）－強化調適能力作為與指引之重要成果。

2.1.1 調適系列研究計畫

本所於 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，做為鐵公路系統設施權責機關（構）研提調適行動計畫之參據及建立「鐵公路調適資訊平台」之基礎。

本所遂於 102 年啟動辦理調適系列研究計畫，初期聚焦於研析重大鐵公路系統於氣候變遷下的風險評估方法。陸續於 102 年「重大鐵公路系統氣候變遷調適策略與脆弱度評估指標之研究」[5] 之計畫中，依據《國家氣候變遷調適政策綱領》與《臺灣氣候變遷科學報告 2011》[6]之相關成果，建立鐵公路建設氣候變遷脆弱度評估指標；於 103 年「重大鐵公路系統氣候變遷風險評估機制與調適資訊平台之研究（1/2）」[7]計畫中，完成重大鐵公路建設氣候變遷脆弱度評估指標系統規劃與建置單機版評估系統、重大鐵公路建設因應氣候變遷之風險評估指標與管理機制研析、重大鐵公路建設氣候變遷調適資訊平台規劃及脆弱度地圖；於 104 年「重大鐵公路系統氣候變遷風險評估機制與調適資訊平台之研究（2/2）」[8]計畫中，完成重大鐵公路建設氣候變遷風險等級劃分原則、重大鐵公路建設氣候變遷調適資訊平台之構建等工作；於 105 年「氣候變遷運輸設施風險評估暨風險資訊進階服務計畫」[9]則依據

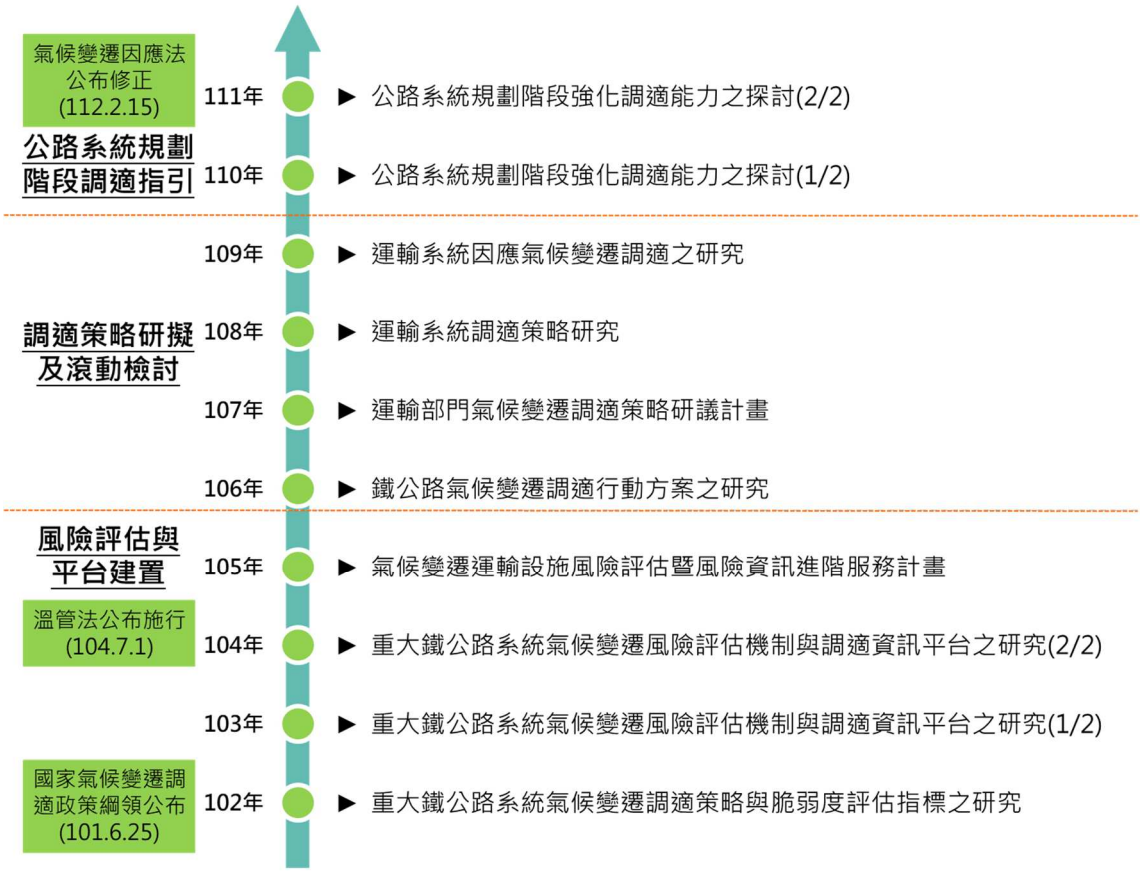
前期基礎，強化鐵公路風險評估指標、確立風險評估方法及風險地圖產製方式，並優化「鐵公路調適資訊平台」供鐵公路系統設施權責機關（構）掌握設施氣候變遷風險，於 106 年至 108 年間持續辦理風險地圖更新工作。

因應《溫管法》104 年 7 月公布施行，本所自 106 年起配合研議調適策略。在 106 年「鐵公路氣候變遷調適行動方案之研究」[10]計畫研議鐵公路系統調適行動方案，提供做為鐵公路系統設施權責機關（構）研提調適行動計畫之參考；於 107 年「運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫」[11]以 106 年計畫成果為基礎，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，歸納建議整體運輸系統的調適策略共 15 項；在 108 年「運輸系統調適策略研究」[12]與 109 年「運輸系統因應氣候變遷調適之研究」[13]等計畫中，持續因應國際調適趨勢、設施權責機關（構）之調適方向及新科技在調適工作上可提供之輔助，滾動檢討調適策略之內容。

於 109 年「運輸系統因應氣候變遷調適之研究」中，依循全球首次發布的氣候變遷調適標準《ISO 14090 氣候變遷調適－原則、規定與指導》[14]（Adaptation to climate change - Principles, requirements and guidelines）建議的調適計畫研擬程序，融合 IPCC AR5 建議的氣候變遷調適六大途徑，將運輸系統的氣候變遷調適策略架構檢討調整為：（1）提升氣候衝擊耐受度、（2）降低氣候衝擊脆弱度、（3）優化氣候衝擊反應力、（4）建構氣候衝擊決策力等四大策略，依辨識的 12 項課題提出 15 項措施，分別適用於個別運輸系統、跨運輸系統與跨單位三大類；110 年計畫「公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2）」[15]則以 109 年度計畫成果為基礎，滾動檢討並調整運輸系統調適策略。

為提升我國公路系統於氣候變遷環境下之調適能力，需於規劃階段（含新建與改建）以全生命週期觀點將氣候變遷風險納入考量，以提高系統之氣候韌性。由於我國公路系統規劃作業尚未考量氣候變遷對周邊區域的影響，111 年「公路系統規劃階段強化調適能力之探討（2/2）」[16]計畫爰參考國外公路系統氣候變遷調適手冊與指引，初步研提規劃階段調適機制，包含「資料蒐集」、「方案研擬與評估」及「工程研究與評估」3 階段的作業流程及方法；並以 110 年計畫為基礎，於 111 年研提公路系統規劃階段之調適指引。

本所歷年氣候變遷調適系列研究之計畫名稱如圖 2.1-1 所示。



資料來源：本計畫繪製。

圖 2.1-1 本所歷年氣候變遷調適系列研究計畫

2.1.2 前期計畫成果—110 至 111 年計畫重點摘述

111 年辦理之「公路系統規劃階段強化調適能力之探討（2/2）」計畫係以 110 年計畫成果為基礎，持續蒐集國外運輸系統調適發展趨勢、深化公路系統規劃階段調適作為，並研提公路系統規劃階段之調適指引，計畫重點成果彙整如下：

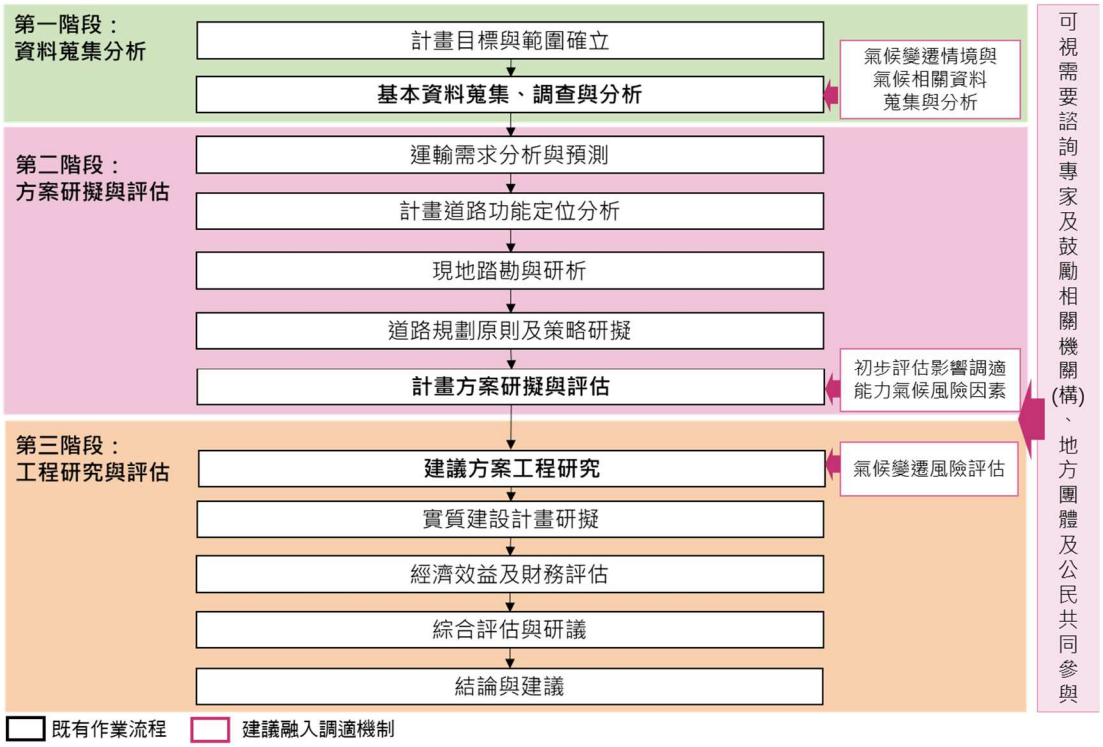
1. 深化公路系統規劃階段強化調適能力作為之內容

由於氣候變遷調適作為涵蓋面向甚廣， 111 年計畫進一步界定調適「作為」應包含「機制」與「方法」二面向：

(1) 機制

機制係指公路系統規劃流程與步驟。目前我國公路系統規劃階段可分為「可行性評估」、「綜合規劃」二階段，而 110 年至 111 年計畫綜理我國

公路系統規劃階段之作業流程，將公路系統規劃階段強化調適能力之規劃流程概分為「資料蒐集」、「方案研擬與評估」及「工程研究與評估」等 3 階段（詳圖 2.1-2），透過文獻回顧、訪談專家學者，滾動檢討規劃階段融入調適理念的操作流程，強化機制的可操作性與實用性，各階段說明如後。



資料來源：公路系統規劃階段強化調適能力之探討（2/2）期末修正定稿報告，交通部運輸研究所，民國 111 年。

圖 2.1-2 公路系統規劃作業流程融入調適理念之框架

① 第一階段：蒐集與分析氣候變遷相關資料

公路系統規劃之第一階段為確立計畫範圍與目標，並據以蒐集基本資料，包含地質、地形、氣候、水文等基本資料，而為了強化公路系統因應氣候變遷的調適能力，應進一步針對計畫範圍未來氣候變遷推估的氣候資訊，以及因氣候變遷可能導致的環境變異進行探討（詳圖 2.1.3），包含：1)回顧過往氣候趨勢初步瞭解氣候變遷對計畫範圍可能產生的影響、2)考量未來氣候變遷情境設定，說明未來氣候變遷情境及 3)依據專案所在區位特徵指認應納入考量的氣候資料，蒐集未來氣候變遷情境之氣候推估資訊。



資料來源：公路系統規劃階段強化調適能力之探討（2/2）期末修正定稿報告，交通部運輸研究所，民國 111 年。

圖 2.1-3 「資料蒐集分析」階段納入調適作業流程

② 第二階段：初步評估影響調適能力之氣候風險因素

公路系統規劃第二階段為方案研擬與評估，此階段包含進行運輸需求分析與預測，並對計畫道路功能定位進行分析、現地踏勘與研析、道路規劃原則及策略研擬，研擬與評估計畫方案並提出建議方案。建議於此階段增納「初步評估影響調適能力的氣候風險因素」工作項目（詳圖 2.1-4），包含指認公路系統面臨之氣候壓力、公路系統暴露因素與脆弱因素，並評估影響調適能力之氣候風險。相關作法包含 1)透過災害經驗瞭解調適能力之氣候因素、危害、暴露度、脆弱度；2)透過前例初步評估影響公路系統調適能力之氣候風險因素，或組成專業工作小組邀請專業者指認關鍵的氣候風險因素，並研判可能的影響。

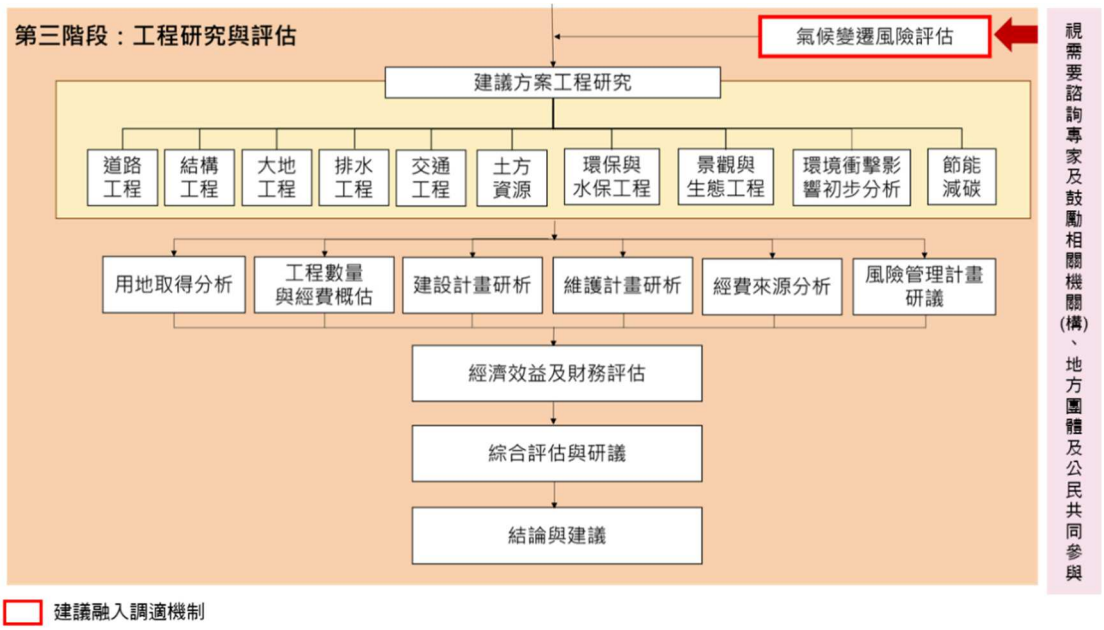


資料來源：公路系統規劃階段強化調適能力之探討（2/2）期末修正定稿報告，交通部運輸研究所，民國 111 年。

圖 2.1-4 「方案研擬與評估」階段納入調適作業流程

③ 第三階段：執行氣候變遷風險評估

第三階段係針對工程方案進行實質建設計畫研擬、經濟效益與財務評估等工作項目，透過研究分析提出綜合評估與研議後提出結論與建議。此階段強化調適能力之重點係以第二階段所評估的影響調適能力的氣候風險因素為基礎，執行氣候變遷風險評估，將風險評估結果納入工程研究、維護計畫以及風險管理計畫，詳圖 2.1-5。



資料來源：公路系統規劃階段強化調適能力之探討（2/2）期末修正定稿報告，交通部運輸研究所，民國 111 年。

圖 2.1-5 「工程研究與評估」階段納入調適作業流程

(2) 方法

方法乃指「氣候變遷風險評估的方法」及「調適選項（adaptation options）」：

① 氣候變遷風險評估的方法

氣候變遷風險評估的方法係協助指認風險缺口所使用的方法。氣候風險評估依據可取得資料及評估量化程度，分為偏質性及半量化之操作，於 111 年計畫中曾介紹包含適合臺灣地區公路系統的氣候衝擊鏈分析法、JICA 氣候風險評估方法以及加拿大公路建設韌性設計的風險評估作法等，供公路實務機關進一步參考應用。

② 調適選項

調適選項係指改善現況缺口以提升氣候韌性的各種方法，其涵蓋面從上到下包括：策略（strategies）、方法（approaches）、解決方案（solutions）及措施（measures）等，於公路系統路段、路廊、路網因應氣候變遷盤點出風險缺口之後，衡酌各專案之計畫目標以及資源限制條件，妥予採取多樣化的調適選項類型以及多元化組合方式，以因應未來所面臨的複合性氣候風險。111 年計畫摘錄了美國聯邦公路管理局（FHWA）因應氣候變遷調適所出版的報告內容提及之有關調適選項的重要內容，同時蒐整 IPCC AR6 綜整之國際間應用於運輸系統之調適選項類別，供國內公路規劃專案研擬調適選項之參考。

然而，面對氣候變遷與社會經濟發展之高度不確定性，氣候變遷調適應衡量相關領域之間的相互關係，並納入系統性的調適思維，考量未來可能各種情境之需求，據以研擬及排序的調適選項。故 111 年計畫參考美洲開發銀行（IDB）2021 年發布《面對氣候變遷下之交通規劃：DMDU 指引》，摘錄 3 種「在高度不確定性之下的決策方法」，包含情境規劃（Scenario Planning）、調適路徑（Adaptive Pathways）及穩健決策（Robust Decision Making）供參考。

2. 研提公路系統規劃階段強化調適能力之指引

本工項係綜整 110 年度及 111 年度計畫成果，研提公路系統規劃階段強化調適能力指引，以供未來公路系統設施權責機關檢討與調整規劃設計相關法規或規範之參考。以下說明該指引之撰擬目的、適用範疇、適用對象以及章節架構：

(1) 撰擬目的

指引旨在協助公路系統權責機關與實務從業人員於規劃階段更全盤性、系統性地納入氣候變遷調適理念，以提升我國公路系統在氣候變遷下的調適能力，建構具備氣候韌性的公路系統。

(2) 適用範疇

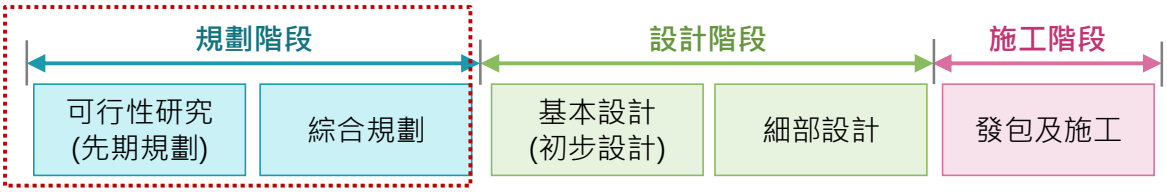
① 以省道、快速公路及高速公路為主要對象

本指引係「公路系統規劃階段調適指引」，因此主要係依據國內高速公路、快速公路、省道系統之規劃程序進行編擬，然其他行經都市計畫範圍之道路系統或是地方政府所管之道路系統於規劃階段仍可參酌使用。

② 主要適用於新建及改建之規劃作業階段

本指引適用於公路系統新建及改建之規劃階段，包含可行性研究及綜合規劃階段（參見圖 2.1-6）。由於國內公路規劃實務上通常將可行性研究與綜合規劃視為同一計畫之概念規劃及詳細規劃，因此，前述二規劃階段均建議循本指引之機制及方法融入氣候變遷調適概念，依各階段所掌握之資料精度及問題具體程度執行氣候風險評估，以利研擬調適選項。

欲提升公路系統之氣候變遷調適能力，於規劃階段即應以全生命週期觀點儘量周延盤點規劃、設計、施工及後續的養護管理各階段的氣候變遷調適需要，以達到最大調適的效果。



資料來源：公路系統規劃階段強化調適能力之探討（2/2）期末修正定稿報告，交通部運輸研究所，民國 111 年。

圖 2.1-6 公路系統規劃階段流程

③ 指引部分內容具廣泛應用價值

本指引內容所引介之調適理念及方法可廣泛應用於公路系統設計、施工及維護等各階段之氣候變遷調適工作。

(3) 適用對象

指引核心的目的在於協助熟練的公路專業規劃者，於專案規劃過程中融入氣候變遷調適的考量，除了公路規劃專家之外，必要時建議與氣候科學專家以及公路系統的其他利害關係人一起工作。此外，本指引也適合公

路系統主管機關、業務相關機關、審查人員以及社會大眾閱讀，以從其中獲取公路系統氣候變遷調適的知識。綜上所述，指引適用對象歸納如下：

① 公路系統管理者：公路管理機關決策者、承辦人員

② 公路系統專案審查者：審查委員、審查作業人員

③ 公路系統實務規劃者：工程顧問公司之專業從業人員

④ 其他利害關係人：與公路系統利害相關之機關人員、企業、社會大眾

(4) 章節架構

指引章節共分為五章，指引第一章係導讀說明氣候變遷調適的概念及原則，並蒐整國際氣候變遷調適趨勢；第二章概述臺灣的氣候變遷情境推估以及氣候變遷對於公路系統的衝擊；第三章說明如何將氣候變遷因素融入公路系統之規劃流程，並說明各階段之作業程序；第四章則依據所建立之機制，針對其中較為困難且關鍵之步驟推介先進國家採用之方法；第五章為結語，同時分享氣候變遷調適的學習資源，以期能有助於公路系統及相關領域從業人員氣候變遷調適之能力建構（參見圖 2.1-7）。



資料來源：公路系統規劃階段強化調適能力之探討（2/2）期末修正定稿報告，交通部運輸研究所，民國 111 年。

圖 2.1-7 「公路系統規劃階段調適指引」之章節架構

2.2 國際因應氣候變遷調適趨勢

本節回顧國際氣候變遷調適最新趨勢及相關國際標準，期供運輸部門各設施管理機關辦理調適業務之參考。

2.2.1 國際氣候變遷調適新趨勢

為接軌國際氣候變遷調適理念及潮流，本計畫以「公路系統因應氣候變遷強化調適能力之探討（2/2）-強化調適能力作為與指引」（以下簡稱「公路系統強化調適能力作為與指引」）之國際氣候變遷調適新趨勢為基礎，除了彙整該研究所蒐集 COP26 揭示的調適重點及 IPCC AR6 揭示的調適重點，另補充 2022 年 COP27 揭示的調適重點及摘述 2022 年聯合國《調適缺口報告 2022》[17]（Adaptation Gap Report 2022, AGR2022）之重要訊息說明如下：

1. COP26 及 COP27 揭示的調適重點

締約國大會（Conference of the Parties, COP）為聯合國氣候變遷綱要公約（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，爾後每年召開大會，最主要的目的係在確保締約國的碳排量，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 通過《巴黎協定》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。

第 26 屆大會（COP26）的重要議程之一是回顧《巴黎協定》及評估各國進展，目標為促使各國於本世紀中葉實現零排放、2030 年前加大減排力度和速度並做出承諾。

COP26 回顧《巴黎協定》第 2 條[1]，承認氣候變遷是人類應共同關注之議題，並針對《巴黎協定》第 7 條[2]氣候調適體系下之調適策略、調適資金融資等議題進行討論與報告。其中，針對調適工作提出建議事項數端，要者如下：

[1] 「巴黎協定」第 2 條：維持本世紀全球溫升低於 2℃並努力限制溫升低於 1.5℃（相較工業革命前）。
[2] 「巴黎協定」第 7 條：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。

(1) 強調擴大行動及支持之急迫性，包含資金、能力建構及技術轉移，以加強韌性、減少脆弱度並提升調適能力，同時考量優先性及發展中之締約國需求。

(2) 迄今所提交之調適資訊交流以及國家調適方案，有助於理解與執行調適行動計畫及其優先性。

(3) 締約國須將調適觀念納入地方、國家以及區域性計畫。

(4) 強調落實《巴黎協定》於全球調適目標達成之重要性。

(5) 請 IPCC 向 COP 提交 AR6 的成果，包含評估相關的調適需求。

(6) 呼籲研究單位進一步探討氣候變遷對於全球、區域和地方之影響、因應對策和調適需求。

同時，考量資金來源為調適計畫得以推動的重要關鍵，針對調適計畫之財務進一步提出數項重要建議：

(1) 目前為氣候變遷調適所提供之資金，不足以應對發展中之締約國日益惡化之氣候變遷影響。

(2) 為因應發展中締約國之需求，敦促已開發之締約國緊急且大幅增加氣候融資、技術轉讓和建構調適能力之支援，包括制定、實施國家調適計畫和調適交流。

(3) 調適基金對於氣候變遷調適提供之專業支持極為重要，邀請已開發之締約國長期認捐。

(4) 回顧《巴黎協定》第 9 條第 4 款，敦促已開發締約國在 2025 年之前，將其向發展中締約國所提供的氣候調適資金整體供應量增加為 2019 年之 1 倍，藉此實現減緩和調適之平衡。

(5) 為了提供氣候變遷調適計畫所需資源，呼籲締約國多邊開發銀行、其他金融機構和私營部門加強融資，並鼓勵締約國為調適計畫持續發展創新方法及工具，以利從民間組織籌集調適資金。

第 27 屆大會（COP27）有鑑於氣候危機逐漸惡化，全球除了積極減排及加強調適提升對於氣候衝擊的韌性外，更應為氣候脆弱的國家爭取氣候損失和損害（loss and damage），COP27 針對調適工作提出建議事項如下：

(1) 重申 COP26 所提的承諾，加強全球調適行動以確保 COP27 獲得進展。

(2) 強化全球調適行動，並敦促各方表現政治意願，以便瞭解和評估增強韌性和援助脆弱地區方面的進展。

(3) 設立損失和損害基金，每年提供 1,000 億美元賠償氣候脆弱國家因氣候變遷造成的損失和損害。

2. IPCC AR6 揭示的調適重點

IPCC 於 2021 年 8 月 9 日所公布的《AR6：物理科學基礎報告》[18]（Climate Change 2021: The Physical Science Basis）指出，目前觀測到前所未見的氣候變遷程度，證據顯示極端天氣事件受暖化影響將更為劇烈。續於 2022 年 2 月 28 日公開之《AR6：衝擊、調適與脆弱度》[19]（Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability）強調氣候變遷衝擊及風險將變得更為複雜，且更難以管理。諸多氣候危害將同時發生，進而導致複合性的整體風險以及橫跨各領域及區域的連動性風險，而妥適的調適作為可降低氣候風險。

我國國家科學及技術委員會「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫（TCCIP）」科學團隊因應前揭報告的公布，發布《IPCC 氣候變遷第六次評估報告「衝擊、調適與脆弱度」之科學重點摘錄》[20]，揭示現行調適及其效益，要者如下：

(1) 在各領域及區域，都已觀察到調適規劃及其推動的明顯進展，並產生了多重效益。然而，調適進展分布不均且存在調適缺口。許多行動優先考慮降低目前及短期的氣候風險，進而降低了轉型性調適的機會。

(2) 可行且有效的調適選項是存在的，將能降低人類及自然風險。在不同領域及區域間，短期內執行調適選項的可行性將有差異。在特定的背景、領域及區域，已有紀錄證實調適於降低氣候風險是有效的，但其效益將因逐漸升溫而有所減少。回應社會不平等問題的整合性、多領域解決方案，並根據氣候風險做出有所區別且跨系統的因應措施，可提升不同領域的調適可行性及效益。

(3) 部分人為調適已達到軟性限制，但可透過解決財務金融、治理、體制及政策等一系列限制予以克服。部分生態系統已達到調適的硬性限制。隨著全球暖化加劇，損失及損害將增加，且額外的人類及自然系統將達到不可突破的調適硬性限制。

(4) 自 AR5 公布後，橫跨眾多領域及區域的不當調適證據有所增加。不當的氣候變遷因應作為可能導致脆弱度、暴露度及風險的困境，如需修正將有困難且代價高昂，同時加劇現有的不平等。不當調適可透過彈性、跨領域、包容式、長期的調適行動規劃與執行予以避免，並為許多領域及系統帶來效益。

(5) 執行、加速及維持人類系統與生態系統調適的關鍵是其「推動條件」，包括政治承諾與落實、體制框架、政策及工具，並需有明確目標及優先事項、強化對衝擊與解決方案的知識、調動並取得妥適財務金融資源、監測與評估、包容式治理程序。

基於前述報告、AR6 其他小組報告及特別報告等，IPCC 於 2023 年 3 月 20 日公布《AR6 總結報告》[21]，彙整當前氣候變遷趨勢與其廣泛影響和風險，以及如何減緩及調適的知識。《AR6 總結報告》承認氣候、生態系統及人類社會之間的相互依存關係，並揭示短期內（近十年內）綜合氣候行動的急迫性，短期氣候行動其益處將會對現況及往後數千年產生重大影響。

而減緩和調適行動通常具有協同作用，若能整合調適與減緩可促進人類永續發展，以下摘錄與調適與減緩綜合行動有關之重點如下：

(1) 強調近期行動的益處，近十年內加速加深減碳力道及加速實行調適行動，將減少人類和失態系統的損失和損害，並產生共效益（例如空氣品質和健康）。延遲減緩與調適行動，將增加成本上升的風險，降低可行性並增加損失與損害。

(2) 關注跨系統的減緩與調適選項，所有部門和系統都需要快速和深度轉型，以利實現永續發展，而這些系統轉型涉及廣泛的減緩及調適選項組合的升級。目前已有可行、有效和低成本的減緩和調適方案，但實務應用上仍存在地區間的差異。

(3) 在減緩和調適氣候變遷影響方面，加速行動和公平行動對永續發展至關重要，且與永續發展目標的權衡相比，減緩和調適行動具更多協同作用。

(4) 有效的氣候行動實踐必須透過政治承諾、協調多層次治理、建立機制框架、法律、政策和策略，以及增加獲得資金和技術的機會。因此具

備明確的目標、跨多個政策領域的協調，以及具包容性的治理流程，有助於採取有效的氣候行動。

3. 聯合國調適缺口報告摘述重要訊息（2022 年）

聯合國環境規劃署（The United Nations Environment Programme, UNEP）於 2022 年發布《調適缺口報告 2022》，摘述重點如下：

(1) 全球暖化加劇使氣候風險持續增加，因此需要更健全的減緩及調適作為，以降低硬結構調適措施的負擔。

(2) 全球 84%國家都至少有一項國家調適規劃工具，且該技術的發展漸趨成熟。

(3) 調適計畫和策略所需資金仍未準備妥善，國際援助發展中國家的調適資金未達當初約定額度，且其金額與計畫差距將持續擴大。

(4) 調適行動雖不斷增加，但仍落後氣候衝擊的增強規模。

(5) 在調適規劃、資金準備的初期考量調適及減緩行動間相互的關聯，可提高綜合效果，如圖 2.2-1。

(6) 目前的調適仍無法滿足缺口，但遵循完善的調適規劃和執行要素可提高結果之有效性，完善調適規劃如圖 2.2-2。



資料來源：聯合國環境規劃署《調適缺口報告 2022》重要訊息摘譯，https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/km_abstract_one.aspx?kid=20221128153634，行政法人國家災害防救科技中心，最後檢視日期：2023.11.01。

圖 2.2-1 氣候變遷減緩及調適行動兩者屬性差異、綜效及交易機制



資料來源：聯合國環境規劃署《調適缺口報告 2022》重要訊息摘譯，https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/km_abstract_one.aspx?kid=20221128153634，行政法人國家災害防救科技中心，最後檢視日期：2023.11.01。

圖 2.2-2 完善調適規劃應考量之要素

2.2.2 國際氣候變遷調適標準

隨著氣候變遷帶來的影響愈發嚴重，全球對於調適規範的需求也日益增長。雖然氣候變遷衝擊隨著區域不同而有其獨特性，但調適規劃過程仍存在共通性可進行標準化。

為瞭解國際氣候變遷調適標準，本計畫以「公路系統強化調適能力作為與指引」之國際氣候變遷調適標準內容為基礎，除了彙整該研究所蒐集之《ISO 14091 氣候變遷調適－脆弱度、衝擊與風險評估指引》[22]（Adaptation to climate change - Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment），亦蒐集國際標準組織（the International Organization for Standardization, ISO）公布之《ISO 14090 氣候變遷調適－原則、規定與指引》、《ISO 14092 氣候變遷調適－對地方政府和社區調適計畫之要求事項和指引》[23]（Adaptation to climate change - Requirements and guidance on adaptation planning for local governments and communities）及《ISO 14093 氣候變遷地方調適計畫融資機

制－基於績效之氣候韌性補助－要求和指引》[24]（Mechanism for financing local adaptation to climate change - Performance-based climate resilience grants - Requirements and guidelines）共計 4 項氣候變遷調適相關標準，其中，ISO14090 提供相關原則、需求與指引，將調適概念整合進組織，引導氣候變遷衝擊與不確定性的認知，並將相關資訊引導至決策過程；ISO 14091 及 ISO 14092 是依循 ISO14090 的架構進一步延伸，ISO14091 提出脆弱度、衝擊及風險評估指引，14092 係針對地方政府及社區的調適工作提出要求事項及指引；ISO 14093 則是針對激勵最低度開發國家（least developed countries, LDC）和其他開發中國家的地方政府執行氣候變遷調適作為之補助機制。氣候變遷調適相關的標準如表 2.2-1。

表 2.2-1 ISO 近 5 年「氣候變遷調適」相關標準

ISO 編號	標準主題	公布年
ISO 14090	氣侯變遷調適－原則、規定與指引 Adaptation to climate change - Principles, requirements and guidelines	2019
ISO 14091	氣侯變遷調適－脆弱度、衝擊及風險評估指引 Adaptation to climate change - Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment	2021
ISO 14092	氣侯變遷調適－對地方政府和社區調適計畫之要求事項和指引 Adaptation to climate change - Requirements and guidance on adaptation planning for local governments and communities	2020
ISO 14093	氣候變遷地方調適計畫融資機制－基於績效之氣候韌性補助－要求事項和指引 Mechanism for financing local adaptation to climate change - Performance-based climate resilience grants - Requirements and guidelines	2022
ISO 14097	溫室氣體管理與相關活動-評估與報導氣候變遷相關投資與融資活動之原則及要求 Greenhouse gas management and related activities – Framework including principles and requirements for assessing and reporting investments and financing activities related to climate change.	2021

資料來源：ISO, the International Organization for Standardization、本計畫彙整。

1. ISO 14090 氣候變遷調適－原則、規定與指引

《ISO 14090 氣候變遷調適－原則、規定與指引》為全球第一項針對氣候變遷調適之標準，是氣候變遷調適系列標準的通則性標準，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 最主要之目的為建立一致化的架構與實際的執行方法，以協助組織針對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具備韌性，因此，ISO 14090 的內容也具有一定的韌性，韌性係指持續回顧、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 2.2-3。

2. ISO 14091 脆弱度、衝擊與風險評估指引

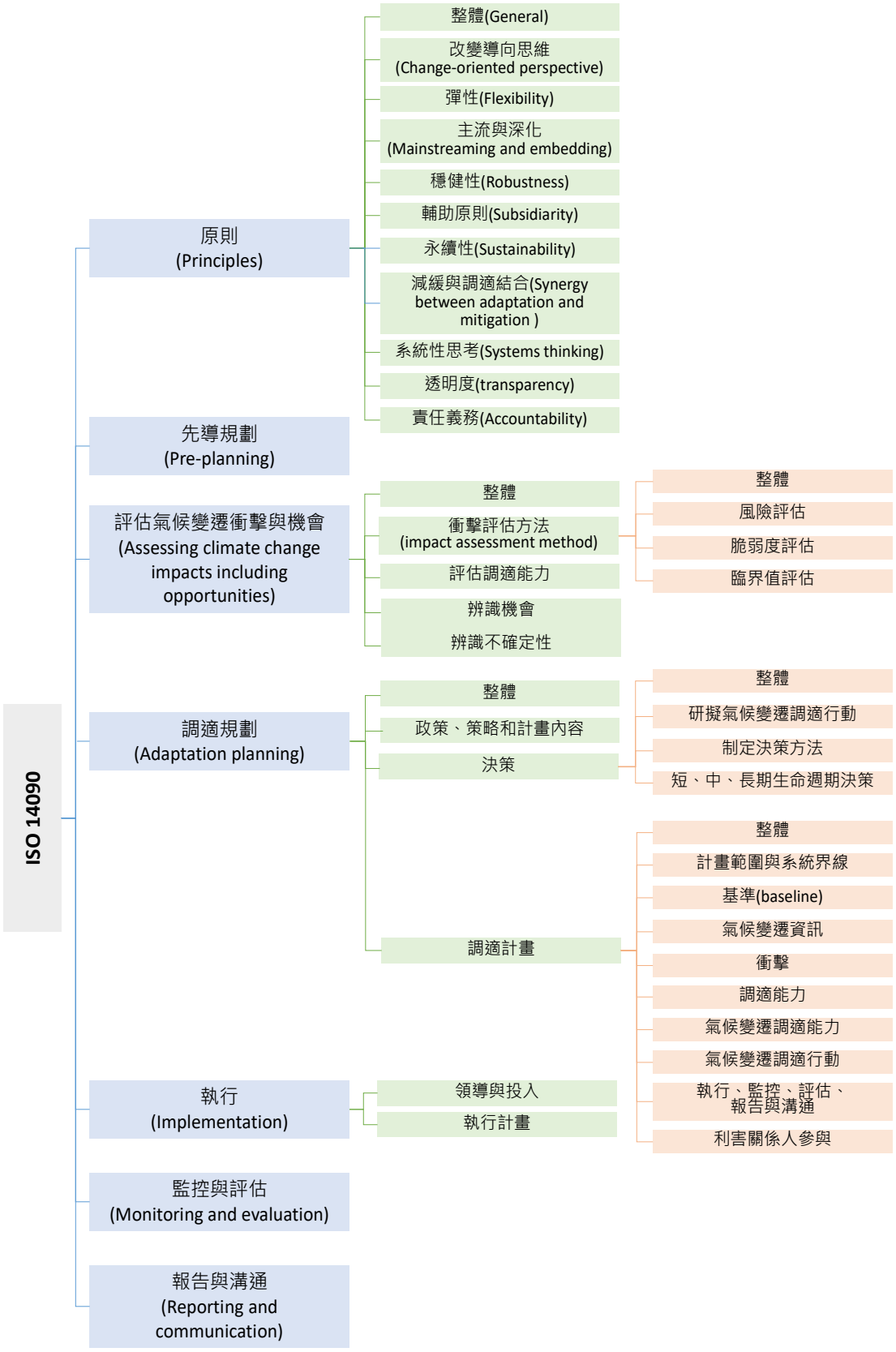
《ISO 14091 氣候變遷調適－脆弱度、衝擊與風險評估指引》說明氣候風險的概念、氣候變遷風險評估前置作業及執行氣候變遷風險評估。

氣候變遷風險評估涵蓋許多工作，評估前須先進行前置作業。前置作業內容包含辨識目標與期望的成果、成立計畫團隊、訂定範疇與評估方法等，其中，時間範疇的選擇可能受資料的可取得性、氣候變遷長期衝擊的不確定性與衝擊間可能的相互交集等影響。

如何執行氣候變遷風險評估，該標準將各流程步驟化為「界定評估背景與框架」、「篩選衝擊與研擬衝擊鏈」、「辨識指標與評估調適能力」、「解析與評估分析跨部門相依性」、「溝通風險評估結果」等五步驟。

組織透過氣候變遷風險評估可確定調適行動及其優先次序，因此執行氣候變遷風險評估有助於協助組織辨識與瞭解氣候變遷的影響並支援決策。

該指引認為氣候風險不僅是威脅同時可能帶來機會，並強調廣泛紀錄氣候變遷風險資料及多方交流。除了風險評估之流程，指引內亦加強減少災害風險（Disaster Risk Reduction, DRR）之規劃，該指引文件之架構如圖 2.2-4。



資料來源：the International Organization for Standardization, ISO 14090:2019 Adaptation to climate change—Principles, requirements and guidelines, 2019、本計畫彙整。

圖 2.2-3 ISO14090 架構示意圖



資料來源：the International Organization for Standardization, ISO 14091:2021 Adaptation to Climate Change－Guidelines on Vulnerability, Impacts and Risk Assessment, 2021、本計畫彙整。

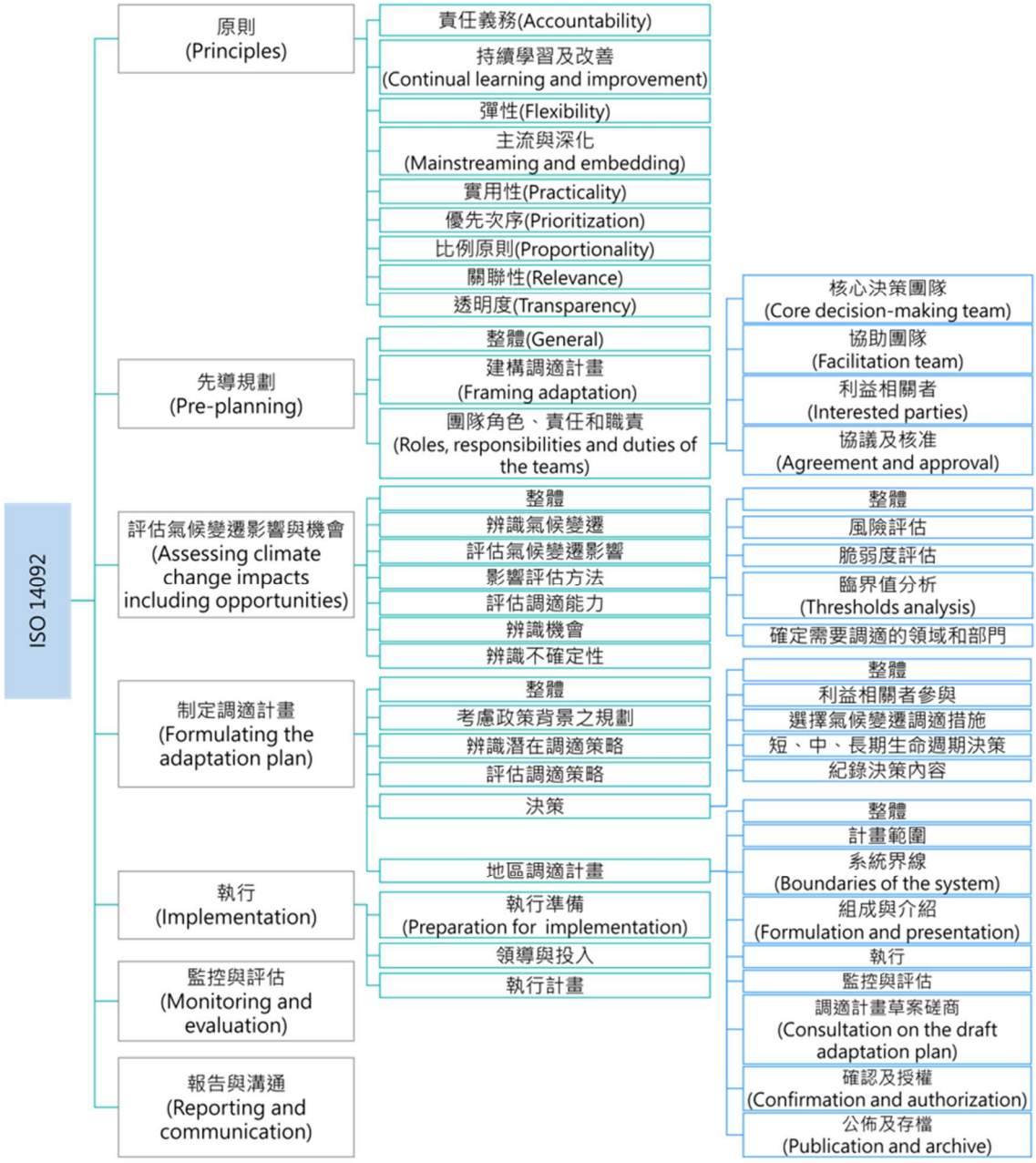
圖 2.2-4 ISO 14091 架構示意圖

3. ISO 14092 氣侯變遷調適－對地方政府和社區調適計畫之要求事項和指引

《ISO 14092 氣侯變遷調適－對地方政府和社區調適計畫之要求事項和指引》認為氣候變遷造成的衝擊因地區而異，且將嚴重影響社會安全、經濟、環境、社會福祉及地方政府，地方政府和社區應為氣候變遷風險研擬調適計畫並預先準備因應措施，因此 ISO 14092 針對地方政府和社區擬定調適計畫進行說明，內容涵蓋建立治理團隊之方法、調適計畫和執行過程之要件。

調適計畫執行要件包括建立協助團隊、評估風險和制定有效計畫、監測調適執行進度，並評估成果進而改善計畫，然為考量地區間氣候、環境和社會條件之差異，調適計畫執行過程可依據當地需求進行調整，此外，各地區所需調適計畫及行動隨時需因應氣候變遷極端天氣事件改變進行調整，所以應持續學習、改善、關注並滾動檢討該調適計畫。

ISO 14092 提供地方政府和社區針對氣候變遷相關威脅及風險之因應指引，協助地方政府和社區初步採取調適行動，地方政府和社區透過遵循標準可制定強而有力、有效且可行之調適計畫，促進當今和未來的調適氣候行動，進而創建一個安全、永續、能抵禦氣候變遷衝擊的社會，ISO 14092 的架構如圖 2.2-5。



資料來源：the International Organization for Standardization, ISO 14092:2020 Adaptation to climate change —Requirements and guidance on adaptation planning for local governments and communities, 2020、本計畫彙整。

圖 2.2-5 ISO 14092 架構示意圖

4. ISO 14093 氣候變遷地方調適計畫融資機制－基於績效之氣候韌性補助－要求和指引

《ISO 14093 氣候變遷地方調適計畫融資機制－基於績效之氣候韌性補助－要求和指引》是以聯合國資本發展基金（United Nations Capital Development Fund ,UNCDF）研發的當地氣候調適生活（local climate adaptive living, LoCAL）機制（LoCAL mechanism，以下簡稱當地機制）為基礎，且 UNCDF 研發的當地機制自 2011 年以來已引入 17 個國家並獲得測試。

ISO 14093 揭露氣候變遷衝擊深刻影響地方政府與社區，然而，最低度開發國家和其他開發中國家的地方政府執行氣候變遷調適作為時，常缺乏資源執行小型或中型調適計畫，而無法建立地方決策流程、計畫及編制預算週期，因此，UNCDF 設計當地機制，減少地方政府在進行調適時面臨的預算和能力建構（capacity building）挑戰。

當地機制可根據國家情況調整，並由地方政府和社區決定適用補助之調適行動，提高地方政府應對氣候變遷的意識和能力，進而有效將氣候變遷調適納入地方政府規劃、預算系統及投資主流。

當地機制主要由基於績效的氣候韌性補助（performance-based climate resilience grants , PBCRG）組成，PBCRG 系統涵蓋先導規劃、影響評估、調適性規劃、執行、監測與評估（monitoring and evaluation）、報告和溝通，其系統設計及執行皆通過 ISO 14090 標準要求，透過核實調適計畫的績效及資金流，增加透明度和問責制（Accountability），進而激勵地方政府採取具針對性之調適行動，ISO 14093 的架構如圖 2.2-6。

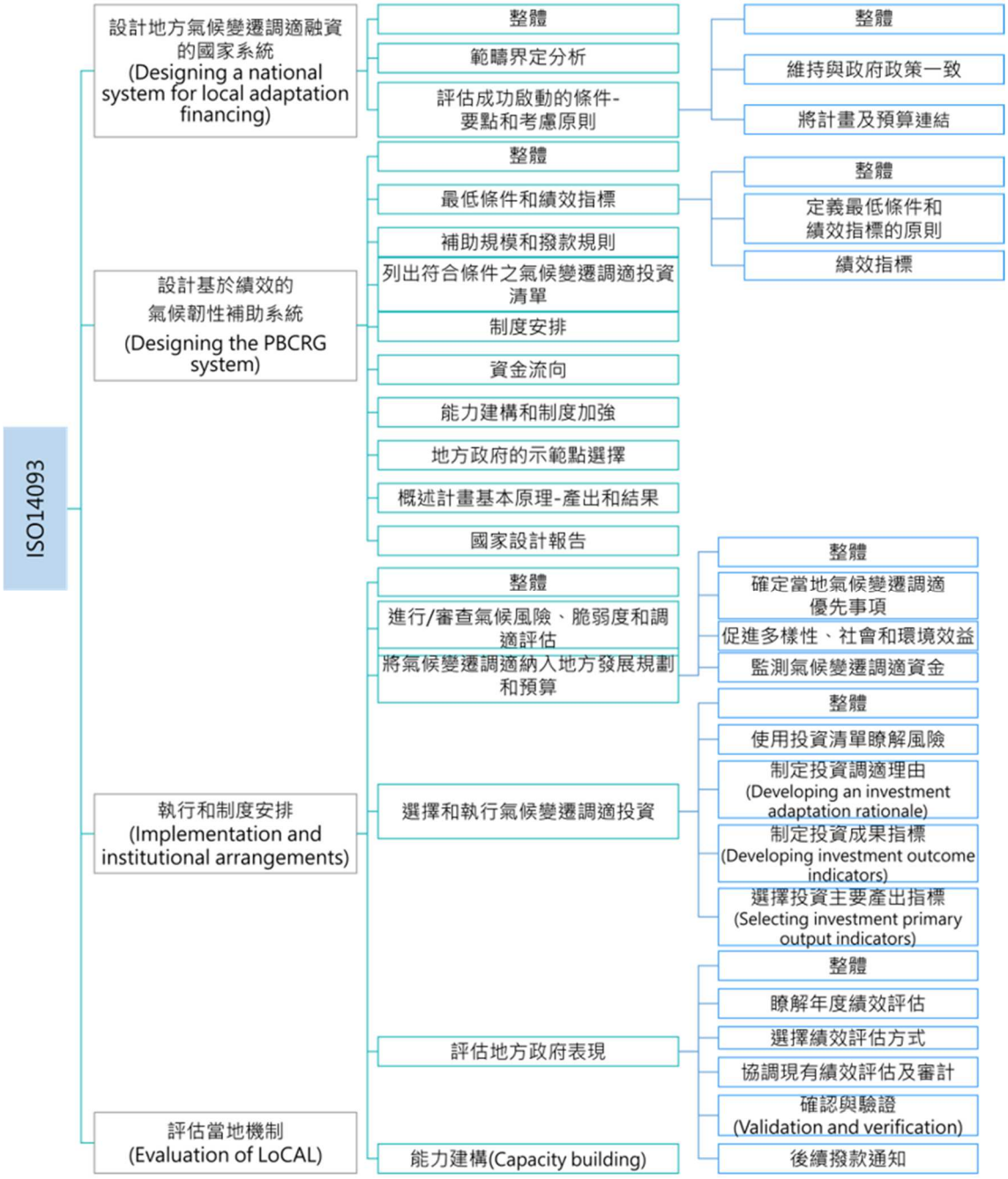
此外，當地機制應確保以下 4 項產出（Output）：

(1) 提高地方政府應對氣候變遷的意識和能力。

(2) 在 PBCRG 系統指導下，將氣候變遷調適納入政府計畫和預算系統並進行投資。

(3) 提高地方政府獲得更廣泛氣候資金的機會並使其有效利用資金。

(4) 通過外展服務（outreach）、學習和品質保證（quality assurance），增強地方政府對於國際應對氣候變遷的調適認知（recognition）。



資料來源：the International Organization for Standardization, ISO 14093:2022 Mechanism for financing local adaptation to climate change — Performance-based climate resilience grants — Requirements nd guidelines, 2022、本計畫彙整。

圖 2.2-6 ISO 14093 架構示意圖

2.2.3 國內可借鏡處

根據前述國際因應氣候變遷調適趨勢，以下針對國際氣候變遷調適新趨勢、國際氣候變遷調適標準二主題，提出可供國內借鏡之處。

1. 國際氣候變遷調適新趨勢

綜整國際氣候變遷調適新趨勢可發現，國際上普遍來說依舊存在調適缺口尚待滿足。然隨著氣候變遷影響加劇氣候變遷衝擊及風險將變得更為複雜，完善的調適規劃勢在必行。建議國內應加強調適資金投入，並在調適規劃、資金準備的初期即考量調適及減緩行動間相互的關聯以提高調適及減緩之綜效。

2. 國際氣候變遷調適標準

從近年國際標準組織發布之調適相關標準公布得知，ISO 14090 及 ISO 14091 提供一致化的架構與實際執行方法有助於組織面對氣候變遷風險研擬具效益且可付諸行動的調適計畫。此外，由於氣候變遷衝擊因地區而異，地方政府推動調適計畫具重要性但有其執行難處，故發布 ISO 14092 及 ISO 14093，提供地方政府和社區調適計畫之要求事項和指引，並透過基於績效之氣候韌性補助方式激勵低度開發國家和其他開發中國家的地方政府執行氣候變遷調適作為。針對國際標準組織發布之調適相關標準，國內可借鏡之處如下：

(1) 國內調適實際執行作法原則上可參考 ISO 14090，其提供一致化的架構與實際執行方法協助組織氣候變遷風險研擬具效益且可付諸行動的調適計畫。

(2) ISO 14091 協助組織瞭解氣候變遷的影響並支援決策，其提及氣候變遷風險評估定期檢討更新之重要性，氣候變遷所帶來之氣候風險隨時間持續變化，因此調適計畫應定期檢討更新，確保目前所知氣候風險符合現況。

(3) 各地面臨之氣候風險各異，為打造地方政府適合的調適計畫宜參考 ISO 14092 作法。調適計畫執行要件包括建立協助團隊、評估風險和制定有效計畫、監測調適執行進度，透過評估成果進而改善計畫，在擬定地方氣候變遷調適計畫過程中，導入利益相關者參與亦十分重要。

(4) ISO 14093 提供補助機制及作法激勵低度開發國家和其他開發中國家的地方政府執行氣候變遷調適，若在資金缺乏時給予氣候變遷調適相關補助，將有助於地方政府擬定並執行氣候變遷調適計畫。

(5)ISO 14097 規範一個通用的框架，包括原則、要求和指引。藉以評估、衡量、監測和報告與氣候變遷及邁向低碳經濟轉型有關的投資與融資行動。

2.3 運輸系統強化調適能力之作為

因應氣候變遷之衝擊，本節蒐集國外近期之運輸系統/部門的調適策略及措施，以及國外應用於運輸系統之調適選項（adaptation options），供國內參考。

2.3.1 先進國家運輸系統調適策略及措施

為汲取先進國際運輸系統調適策略及措施，本計畫以「公路系統強化調適能力作為與指引」之內容為基礎，除了彙整該研究所蒐集之 2019 年《蘇格蘭氣候變遷計畫 - 運輸系統調適策略》（Climate Ready Scotland: Second Scottish Climate Change Adaptation Programme 2019-2024）[25]、《愛爾蘭運輸部門氣候變遷調適計畫》（Transport Climate Change Sectoral Adaptation Plan）[26]之外，另補充 2021 年美國運輸部發布之《2022 年至 2026 年策略計畫》（The Fiscal Year 2022-2026 Strategic Plan）[27]、2022 年澳洲維多利亞州政府發布的《2022 年至 2026 年運輸部門氣候變遷調適計畫》（Transport Climate Change Adaptation Action Plan 2022–2026）[28]、紐西蘭交通部發布的《2022 年至 2026 年交通運輸氣候變遷調適行動計畫》（Tiro Rangi – our climate adaptation plan）[29]，並進行各國調適策略之重點彙整與分析。

1. 蘇格蘭氣候變遷計畫 - 運輸系統調適策略（2019 年）

蘇格蘭於 2019 年公布新一期的氣候變遷調適計畫，彙整各相關部門的調適計畫。其中亦針對維生基礎設施於氣候變遷環境下可能面臨之威脅（圖 2.3-1）研擬調適策略。

(1) 公路

公路為蘇格蘭經濟與民生的重要資產，為確保其氣候韌性，除定期維護與監測外，同時也藉由執行土石流研究計畫，降低公路的坡地傷害脆弱度。上述土石流研究計畫所辨識的高風險邊坡地點即納入改善計畫，該研究計畫係採定期更新的做法以利持續監控及掌握風險。

此外，蘇格蘭也持續監測與蒐集公路淹水資訊，以辨識易淹水路段與其影響，研擬工程改善方案。在橋梁沖刷上，導入管理機制，透過巡檢、監測、檢測與記錄等一系列的作為，建構風險管理與決策改善計畫的基礎。

(2) 鐵路

透過蘇格蘭總理的《第六控制期目標水平設定》（Scottish Ministers' High Level Output Specification, Control Period 6）提高鐵路系統的永續性與韌性，在不同階段與設施導入提升韌性的作為，並持續監控在氣候變遷下的表現。

(3) 機場與商港

依據《第 2 期國家運輸策略》（National Transport Strategy 2），機場與商港在因應氣候變遷上，應針對強降雨、強風等發生頻率的增加與溫升等研擬對應的調適行動方案。

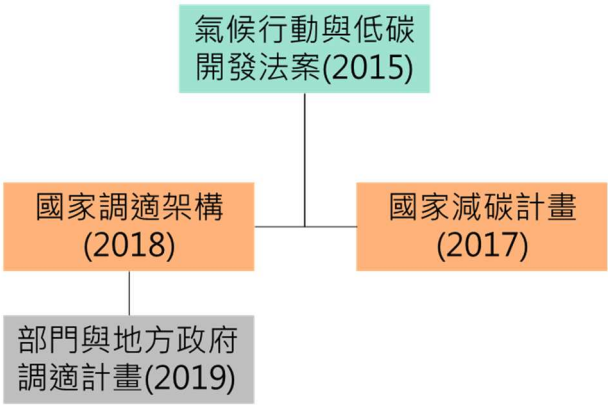


資料來源：Scottish Government, Climate Ready Scotland: Second Scottish Climate Change Adaptation Programme 2019-2024, 2019.

圖 2.3-1 氣候變遷對維生基礎設施的威脅

2. 愛爾蘭運輸部門氣候變遷調適計畫（2019 年）

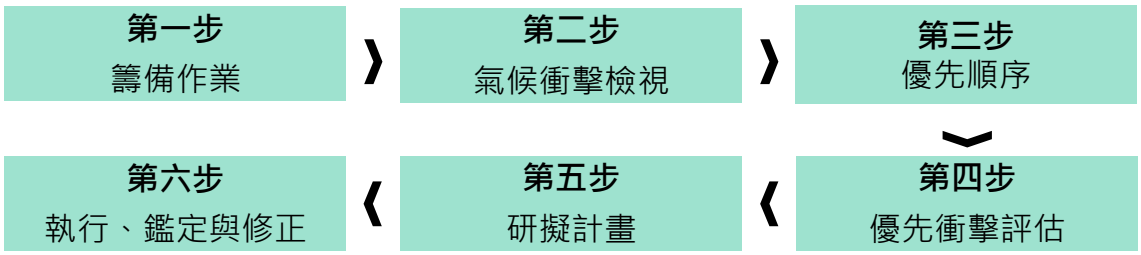
愛爾蘭的氣候變遷調適計畫層級如圖 2.3-2 所示。依據 2015 年發布的《氣候行動與低碳開發法案》（Climate Action & Low Carbon Development Act）所研擬的國家調適架構的規範，愛爾蘭交通部於 2019 年公布《運輸部門調適計畫》。



資料來源：Department of Transport, Tourism and Sport, Transport Climate Change Sectoral Adaptation Plan, 2019.

圖 2.3-2 愛爾蘭的氣候變遷調適計畫體系示意圖

該氣候變遷調適計畫的研擬流程如圖 2.3-3 所示。首先在第一步與第二步辨識氣候衝擊對運輸系統可能造成之無法承受的衝擊，以完善籌備後續的調適研擬程序，第三步以政策目的與目標決定氣候衝擊的優先考量順序，第四步則是進一步就第三步辨識的順序做完整暴露度、敏感度與調適能力評估，第五與第六步則是依據辨識的衝擊與脆弱度研擬調適目標、目的與行動方案，決定行動方案執行的優先性。



資料來源：Department of Transport, Tourism and Sport, Transport Climate Change Sectoral Adaptation Plan, 2019.

圖 2.3-3 愛爾蘭運輸部門氣候變遷調適策略研擬流程

運輸部門的調適目標設定為：「保全運輸設施不受氣候變遷的衝擊以持續支援經濟、社會與環境發展目標」。在此目標下衍生 3 個調適標的：

(1) 增加氣候變遷對運輸系統衝擊的理解，包含跨部門之間的相互影響，並縮小部門間的認知差異。

(2) 輔助運輸系統的利害關係人辨識與決定氣候變遷風險對既有與規劃中的設施資產的優先順序，並研擬對應的調適作為。

(3) 規劃中的運輸設施需在投資計畫中研擬極端氣候的韌性作為與長期調適需求。

運輸部門的調適行動計畫可分為三大類型：

(1) 軟性（soft）

軟性的調適為措施、規定或管理系統的調整。例如，策略性地調整土地使用，以因應氣候變遷帶來的洪水或水域水流的變化。另外，在規劃與開發程序中與其他相關部門合作，以整體性地掌握氣候變遷的衝擊與強化因應措施、將氣候變遷調適相關條款納入國家運輸設施投資計畫內或與利害關係人、跨部門單位共同合作相關研究，以更全面地管理與因應氣候變遷的衝擊。

(2) 綠色（green）

綠色的調適為利用生態特性提升人類與自然系統在氣候變遷衝擊下的韌性。舉例而言，增加都市區域的綠色空間以蓄留洪水，或強化沙丘系統（dune systems）以做為海岸暴潮/風浪侵蝕的屏障等。

(3) 灰色（grey）

灰色調適指技術或工程的氣候變遷因應作為。例如，將位於高淹水潛勢地區的路段架高，或因應海平面上升設置海牆等。

該調適行動計畫係為愛爾蘭 2050 年轉型為氣候韌性經濟的一環，多數的調適行動係由運輸系統利害關係人（如設施提供者或服務營運者）執行，且視為標準營運與商業規劃流程的一部分。成本效益評估為決策是否調適的依據，並可用於評估採取軟性、綠色或灰色的調適方案。

調適作為的成本通常高昂，特別是針對關鍵設施（可能因路網特性與範圍有成本差異），在有些情況下，最好的方案（或最具成本效益的）可能是不執行調適作為，或是採取軟性的政策，而許多時候調適的政策都屬跨部門，需與其他機關(構)、跨部門並與利害關係人合作，以提高整體調適效益。

目前為止，愛爾蘭運輸部門氣候變遷調適計畫針對前述 3 個調適標的所研擬的調適行動皆屬於「軟性」行動。

3. 美國運輸部因應氣候變遷策略計畫－運輸基礎設施韌性、靈活及調適策略（2021 年）

美國國會於 2021 年 11 月 8 日通過拜登的兩黨基礎建設法案（Bipartisan Infrastructure Deal），將加強美國對抗極端天氣和氣候變化的能力，同時減少溫室氣體排放等，擬做為州、縣市等地方政府規劃與實施更合理的調適策略之重要依據。該法案在 1.2 兆（萬億）美元的預算中，將有 470 億美元用於「韌性」項目。

美國運輸部（U.S. Department of Transportation）自 2006 年起每 5 年發布一期策略計畫（Strategic Plan），該計畫針對未來 5 年的交通系統安全、經濟競爭力、環境永續等大目標提出小目標及多項策略，其中，因為氣候變遷對交通基礎設施及其服務社區的安全、效能、公平和永續性構成重大的風險，且該風險不斷增強，所以 2021 年發布之策略計畫，已將氣候變遷納入環境永續目標並更名為氣候與永續（Climate and Sustainability）。

美國運輸部於 2021 年發布的《2022 年至 2026 年策略計畫》，涵蓋安全、經濟健全和全球競爭力、公平、氣候和永續、轉型、增強優越組織等主題，其中，氣候和永續希望通過確保交通在解決方案中發揮核心作用來應對氣候危機，大幅減少溫室氣體排放和交通相關污染，建立更具韌性和永續性的運輸系統；轉型則希望運輸設施為未來而設計，為應對當前的挑戰，並使未來的運輸系統現代化，投資以目標為導向的研究和創新。氣候和永續及轉型兩目標分別包含增加運輸基礎設施韌性及增加靈活性和調適性等目標。

針對增加基礎設施韌性，報告提出以下策略：

(1) 評估和減少運輸基礎設施對氣候變遷、海平面上升、極端天氣和自然災害的脆弱度。

(2) 評估資產的脆弱度並識別新興的氣候調適和緩解策略。

(3) 通過更新指引和法規增強整體運輸規劃和開發計畫的韌性。

(4) 改善運輸部門的應急準備和因應措施。

(5) 支持投資韌性基礎設施以保護投資並確保安全可靠的交通。

(6) 進行案例研究和示範計畫，用以開發和評估創新調適和韌性技術、工具和機會。

針對增加靈活性和調適性，報告則提出以下策略：

(1) 為應對未來的機會事件（opportunity）和中斷事件（disruption），支持針對政策決策及投資的情景規劃和穩健決策制定。

(2) 執行研究瞭解新興交通技術(例如自動化和無人機系統)對公共安全、運輸系統使用和運營以及基礎設施設計的需求和影響。

(3) 評估運輸資產的生命週期成本，並同時評估受新興技術影響的生命週期成本。

(4) 完善和更新政府撥款的要求，確保世代投資能在預期的生命週期內維持績效。

(5) 於聯邦研究機構發展合適研究能力以應對新挑戰。

(6) 支持預測、應對（respond）和復原（recover）中斷事件的研究。

4. 澳洲維多利亞州政府－運輸部門氣候變遷調適計畫（2022 年）

澳洲維多利亞州政府於 2017 年制定《氣候變遷法案》(Climate Change Act 2017）承諾將於 2050 年達成淨零，2022 年初基於上述法案及計畫發布《2022 年至 2026 年交通運輸氣候變遷調適行動計畫》，並針對交通運輸提出 3 個優先事項（Priority）及 15 項配套行動（Action）。優先事項及其配套行動說明如下：

(1) 解決當前的氣候變遷影響

① 與運輸機構和產業夥伴合作，以便運輸服務及基礎設施在氣候變遷事件發生時有效應對並快速復原。

② 加強交通部門針對運輸資產、基礎設施和服務的調適規劃及決策。

③ 增強運輸資產、基礎設施和服務的韌性。

④ 識別、關注和瞭解交通系統中處於高風險、脆弱度或面臨潛在短期氣候變遷暴露度最大者，並瞭解保險缺口或優先保護這些運輸資產、基礎設施和服務。

⑤ 為規劃、保護，以及降低跨領域交通系統的風險，應增強跨系統合作。

(2) 降低行動阻礙

① 培養交通部門員工能力，使其於規劃、建設、恢復和維護交通資產及基礎設施時，納入調適性考慮（consideration）及調適選項，並整合方案成本效益。

② 根據維多利亞州的交通系統繪製氣候變遷預測數據，以確定優先順序。

③ 透過氣候情景（climate scenarios）針對調適規劃的交通政策、規劃和執行程序進行壓力測試（stress-testing），同時確認納入調適性實踐、規劃和原則的機會（opportunity），與維多利亞最先進的科學一致（consistent），分析當前方法、缺口（gaps）和阻礙。

④ 促進可為交通系統提供有效調適方案的新興和創新技術、市場回應（response）和融資模式（funding models）。

⑤ 支持促進交通領導者透過跨交通網路界面與共享知識的治理結構，並支持採用有關調適行動的學習和協作。

⑥ 在決策過程中以更廣泛的視角看待環境影響，如考慮該部門正在採取的減排行動，並根據其措施調整調適行動。

(3) 為將來的轉型變革奠定基礎

① 與地區交通主管機關協商並合作，瞭解目前針對當地社區、弱勢群體和原住民社區的需求所採取的工作，以確定和瞭解當地調適優先事項，並授權其採取調適行動。

② 監測、審查和評估整體交通系統目前採取的調適行動。

③ 思考於交通資產和基礎設施的整體生命週期納入氣候調適力及制訂預算的方式。

④ 學習全球模範案例並支持測試調適解決方案的試驗和示範計畫，以促進學習和理解對運輸系統有益的調適創新方法或技術。

5. 紐西蘭交通部氣候變遷調適計畫（2022 年）

紐西蘭交通部（Waka Kotahi NZ Transport Agency）為達成降低暴露於氣候變遷中的資產脆弱度、確保新建基礎設施能適應不斷變化的氣候，並增強應對氣候變遷的調適能力，尤其聚焦為未來十年氣候變遷調適奠定堅實基礎，

爰於 2022 年 12 月發布《昂首－我們的調適計畫》，提出在氣候變遷下可能面臨的課題，並研擬因應的調適策略。

紐西蘭交通部將調適策略納入長期規劃，並依照地點及時間尺度靈活運用該國調適因應四大框架，涵蓋迴避（Avoid）、保護、調整（accommodate）和搬遷（Retreat），故每個計畫最合適的調適策略都不同（參見圖 2.3-4）。說明如下：

(1) 迴避

規劃時避免於面臨重大氣候危害的地區進行開發，可迴避未來高昂的維護費用及難以處理的氣候風險。

① 避免未來的氣候危害

避免於未來可能面臨洪水、風暴潮和海平面上升等多種氣候災害的地區進行開發。

② 因地制宜的運輸型態發展

通過規劃和定位（locating）開發遠離暴露於氣候危害的地區。

③ 未來氣候風險管理

應考慮避開每個地點的原因，並瞭解每個開發地點都存在一定程度的氣候風險，要主動管理風險。

(2) 保護

使用灰色和綠色工程解決方案，如海堤、有生命的海岸線（living shorelines），或使用集水區洪水管理等方法來管理危害，保護基礎設施免受氣候危害；此策略雖對於位處風險地區的基礎設施發展有益，但仍須考慮其在不斷變化的氣候中之長期可行性。

① 海岸保護

可透過海堤、柵欄（barrier）、近海防波堤（offshore breakwaters）和平台（platform）以及沙丘（dune）等 NbS 方法抵御風暴潮（Storm surge）、消散（dissipate）波能（wave energy）並防止溢淹（overtopping）和洪水氾濫，有效保護海岸。

② 洪水管理

可以透過集水區管理及替涵洞設計可供碎屑（debris）及魚類通過的排水通道防止洪水並減少侵蝕。

③ 穩定斜坡（Slope）系統

透過同時使用灰色硬工程及綠色工程，可以穩定和黏合（bind）土壤、控制侵蝕和減少滑坡（slip），如將植生牆（living walls）、原生再造林（native reforestation）與擋土牆（Retaining wall）、落石網（rockfall mesh）一起使用。

(3) 調整

承認及瞭解不可避免的氣候危害將對基礎設施造成影響，但確保將損失降至最低，並且可通過緊急管理（emergency management）迅速恢復。

① 替代道路和改道（detour）

交通網絡的主要路線因天氣事件關閉時，可以通過改道或替代道路進行管理。

② 智能技術和移動可變資訊標誌（variable message signage, VMS）

移動可變資訊標誌可作為交通管理系統，發生緊急事故時，可提供危險預警，提前通知用路人，使其規劃改道。

③ 洪水和水資源管理

濕地提供匯集水流和減緩徑流的功能，可減少洪水對交通網絡基礎設施的影響。

(4) 搬遷

當保護和調整策略不可行，且位於氣候危害地點的交通基礎設施和資產無法承受風險時，要進行有計劃及管理的搬遷。

① 新增內陸（inland）道路

沿海道路改道內陸，避免暴露於沿海和洪水危害，可連接更廣泛的交通網絡增加替代道路。

② 原始沿海道路運用

從受氣候變遷影響的危險區域搬遷後，應拆除或重新利用基礎設施，例如將道路改造為沿海人行道。

③ 增加開放空間

從海岸搬遷可以恢復自然海岸，在氣候變遷影響發生時海岸將比道路先受到衝擊，可做為道路的保護。



資料來源：Waka Kotahi NZ Transport Agency, Tiro Rangi – our climate adaptation plan, 2022、本計畫彙整。

圖 2.3-4 紐西蘭交通部氣候變遷調適策略

2.3.2 運輸系統調適選項

為瞭解運輸系統調適選項，本計畫以「公路系統強化調適能力作為與指引」之內容為基礎，除了彙整該研究所蒐集之美國聯邦公路管理局（FHWA）－以自然為本提升海岸公路韌性的解決方案及 IPCC AR6 綜整之公路調適選項之外，另補充 2020 年美國運輸協會發布的《美國國家協作公路研究計畫－將調適措施的成本效益納入極端天氣事件和氣候變遷的準備工作指引》[30]（Incorporating the Costs and Benefits of Adaptation Measures in Preparation for Extreme Weather Events and Climate Change Guidebook）、2022 年美國白宮發布的《加速以自然為本的解決方案的機會：氣候進展、豐富自然、公平及繁榮的路線圖》[31]（Opportunities to accelerate nature-based solutions: a roadmap for climate progress, thriving nature, equity, & prosperity），以及 2023 年城市交通轉型倡議（TUMI）發布之《以自然為本的解決方案運用於運輸領域》

（Nature Based Solutions （NBS） in the Transport Sector）[32]，並針對各國調適選項（adaptation options）之重點彙整與分析。

從國外文獻回顧發現，國外調適研究及實務案例報告所採用的調適選項頗為多元，調適選項（adaptation options）的涵蓋面從上到下包括：策略（strategies）、方法（approaches）、解決方案（solutions）及措施（measures）等。

IPCC 於 2022 年 2 月發布《AR6：衝擊、調適與脆弱度》報告中綜整國際上應用於運輸系統之調適選項類別，包括硬保護（hard protection）、調整與升級（accommodation and advance as strategies）、搬遷（migration）與以自然為本的調適方法（Ecosystem-based Adaptation approaches, EbA & Nature-based Solutions, NbS）。

其中，以自然為本的解決方案（NbS）在 COP 27 為重點議題之一，在會中除了積極討論各國目前 NbS 運用於氣候變遷調適行動之情形，更承諾 3.5 億美金的氣候投資基金，用於解決埃及、斐濟和非洲地區等國之氣候危機。同時，美國白宮（The White House）於 COP 27（2022 年 11 月）會中首次發布該國 NbS 路線圖《加速以自然為本的解決方案的機會：氣候進展、豐富自然、公平及繁榮的路線圖》，該文件提出美國 NbS 策略建議綱要計畫，用於指導該國充分運用 NbS 潛力以因應氣候變遷、自然損失和不平等問題，預計提供 250 億美元以上的資金支持 NbS 的實施。

因此，配合國際調適趨勢正積極推廣強化 NbS 運用，本計畫加強說明 FHWA 於 2019 年提出之《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）[33]，該文本詳細說明如何應用 NbS 於運輸系統提升韌性之具體做法。

按照計畫發布順序分別說明如下：

1. 美國聯邦公路管理局（FHWA）－以自然為本提升海岸公路韌性的解決方案（2019 年）

FHWA 於 2019 年發布《以自然為本提升海岸公路韌性的解決方案》說明如何運用以自然為本的解決方案（NbS）提高海岸公路在面對極端氣候與海平面上升衝擊時的氣候韌性。

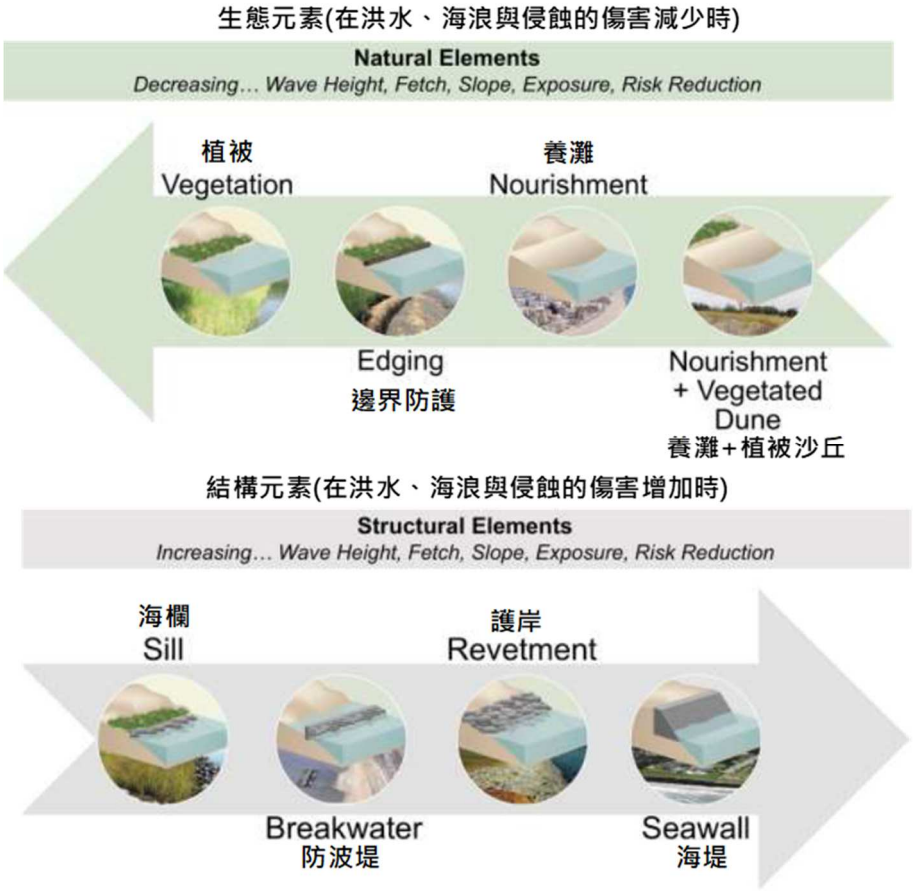
近年來許多國家沿海運輸系統面臨海平面上升、海岸侵蝕、暴潮等災害衝擊，並意識到傳統工程對生態的破壞及工程應用上的限制，因而逐步採用「以自然為本的解決方案（Nature-based Solutions, NbS）」，透過自然保育方式，或自然結合工程的手法，減緩侵蝕、洪水災害、波浪災害，來保護沿海公路系統。

以自然為本的解決方案（NbS）運用於沿海公路可做為氣候衝擊事件的第一線防禦，用結構物理和生物物理程序，減緩沿海公路受洪水、波浪和海水的侵蝕。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）；海灘和沙丘能消散波浪能量並減少沿海洪水和極端事件造成的破壞。

一般來說 NbS 成本低於或相等於傳統海岸線保護工程的初始成本，NbS 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 2.3-5 所示，並可適度採用混合方法（hybrid nature-based solution）。

NbS 有 4 項特性：（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）比工程工法提供更多自然美學效益。

海岸公路能否適合採用 NbS 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。



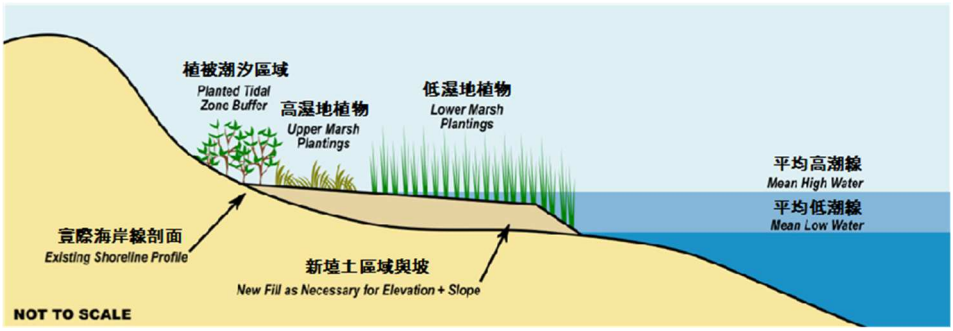
資料來源：Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: an Implementation Guide, Federal Highway Administration, 2019、本計畫彙整。

圖 2.3-5 以自然為本生態元素與結構元素之風險程度適用性

運用於沿海公路的 NbS 分為 6 類（參見圖 2.3-6~11），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。

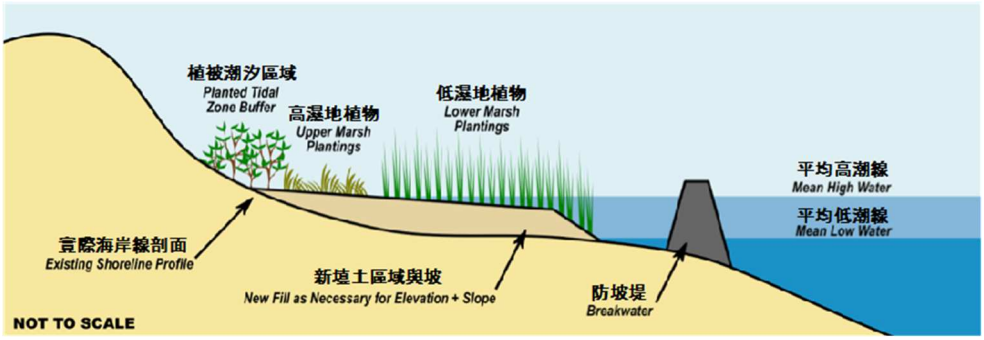


資料來源：Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: an Implementation Guide, Federal Highway Administration, 2019、本計畫彙整。

圖 2.3-6 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。

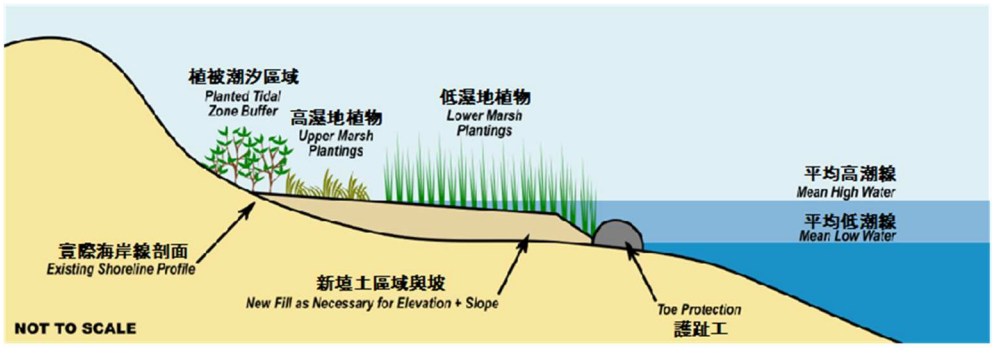


資料來源：Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: an Implementation Guide, Federal Highway Administration, 2019、本計畫彙整。

圖 2.3-7 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。

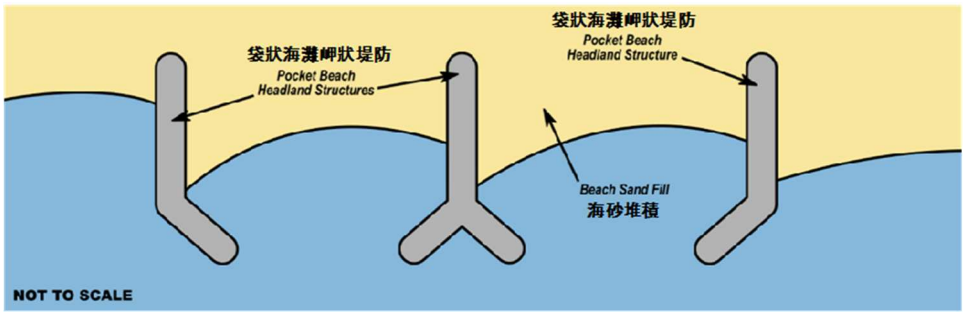


資料來源：Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: an Implementation Guide, Federal Highway Administration, 2019、本計畫彙整。

圖 2.3-8 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。

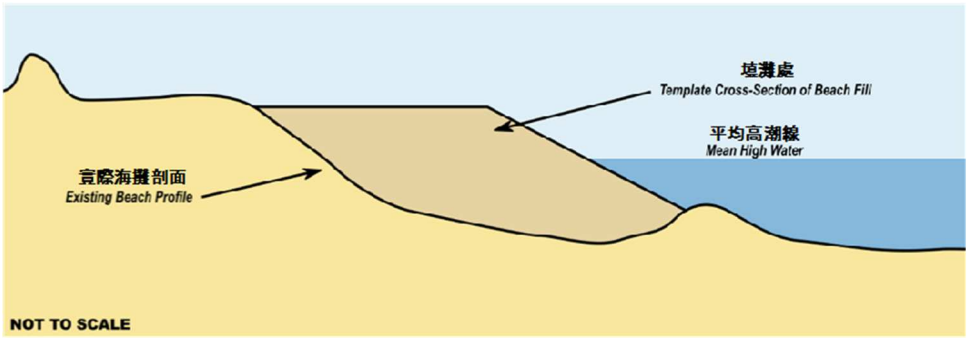


資料來源：Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: an Implementation Guide, Federal Highway Administration, 2019、本計畫彙整。

圖 2.3-9 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。

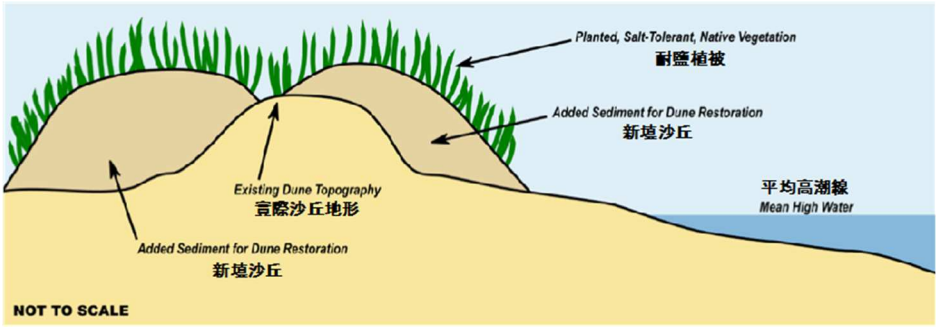


資料來源：Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: an Implementation Guide, Federal Highway Administration, 2019、本計畫彙整。

圖 2.3-10 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：Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: an Implementation Guide, Federal Highway Administration, 2019、本計畫彙整。

圖 2.3-11 沙丘示意圖

2. 美國運輸研究學會－美國國家協作公路研究計畫－將調適措施的成本效益納入極端天氣事件和氣候變遷的準備工作指引（2020 年）

因氣候變遷具有不確定性，相關的調適措施如能針對其效益進行量化以決定執行的優先性，並研擬預算編列與分配，可更合理地提升公路系統的調適能力。為因應上述需求，美國國家公路合作研究計畫（National Cooperative Highway Research Program）於 2020 年發布《將調適措施的成本效益納入極端天氣事件和氣候變遷的準備工作指引》，針對州交通局（State Department of Transportation, DOT）所提出的需求提供調適措施成本效益評估應用（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 DOT 應用 CBA 評估改善計畫的效益。

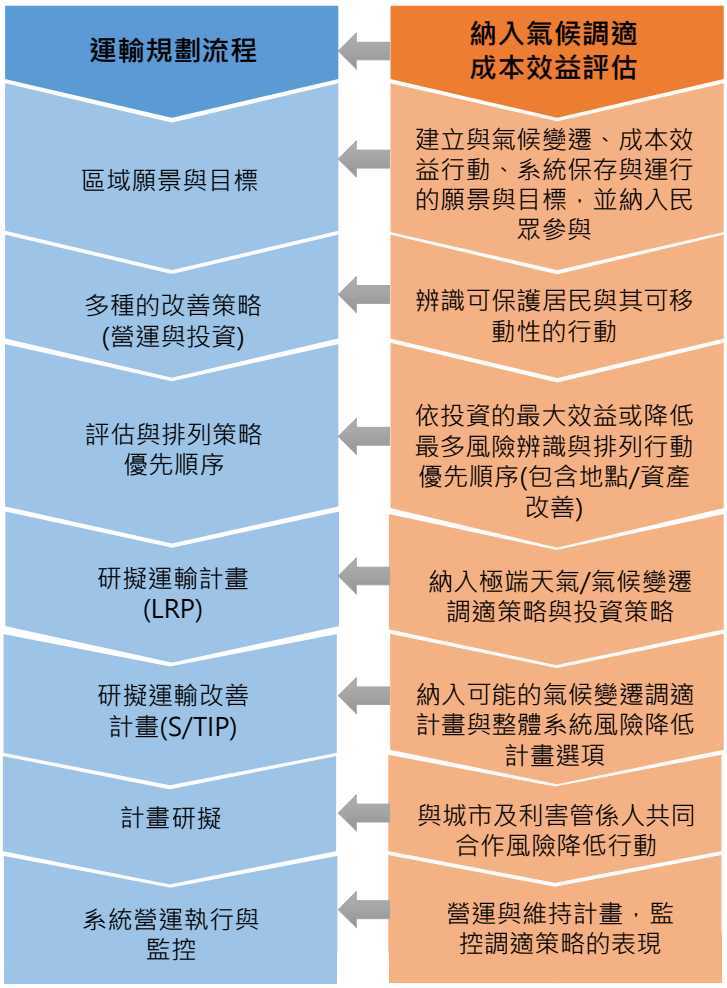
(1) 將調適措施成本效益納入既有運輸規劃流程

目前許多州交通局都已完成氣候風險與脆弱度評估，但目前一般來說皆都沒正式納入 CBA 考量；尤其是在與運輸規劃流程整合時，CBA 是將氣候風險及脆弱度評估結果與調適執行應用面之間連結的關鍵要素，如圖 2.3-12 及圖 2.3-13。



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, 2020

圖 2.3-12 從氣候風險到調適執行的過程



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, 2020.

圖 2.3-13 將氣候調適措施的成本效益概念納入運輸規劃各階段

(2) 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、事實與假設（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措施。其中一個替代方案需為零方案（status quo），以做為比較基準。

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。

(3) 將氣候變遷考量納入成本效益評估

將氣候變遷考量納入成本效益評估之作法需考量氣候模式與氣候情境，氣候情境可使用 IPCC 於 AR5 報告中所使用的第五期耦合模型相互比較項目(Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5)之情境。為確保成本效益評估的準確性，需依據計畫所在區域及設施壽命評估選取合適氣候情境及年份，如：道路壽命為 15 至 20 年，則須考慮 20 年後的氣候型態變化。

(4) 成本效益評估的參數

成本效益評估的參數有許多，以建設為主的調適措施為例，其成本參數包含建置前的準備成本（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。為評

估相關金額及參數，建議參考工程報價、過往相似計畫紀錄及日常營運報表等。

廣義調適措施的效益為「避免災害影響」，包含生命與財產物理損害，調適措施所產生的效益包含節省修復或替換的成本。以運輸系統為例，道路、橋梁與隧道等主要設施受到天氣事件衝擊時，支持的設備為涵洞、堤防、圍欄及號誌等；應變與回復的成本節省則為天氣事件衝擊時之防護、替代設備及相關人事成本；其他的效益包含減少其他損害、降低地方經濟損失與運輸系統服務中斷或延遲的營運與時間成本損失等效益。

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，調適措施可產生的環境效益包含強化環境生態、復育生態系統、改善水質、建設開放蓄水空間等；其他效益為社會效益，如環境正義、舒緩民眾在氣候變遷環境下的心理焦慮等。

3. IPCC AR6 綜整之運輸系統調適選項（2022）

IPCC AR6 指出為因應氣候變遷加劇，世界各國目前已積極投入並展現出多元的調適選項。目前運輸系統有多樣化適應選項可供選擇，包括升級基礎設施、調整或遷移關鍵公路資產等，而國外實務案例如大洋洲的公路系統調適包括改道、海岸保護、改善排水系統和升級基礎設施，證據顯示大多數調適選項皆能提供良好的效益成本比。

此外，IPCC AR6 強調氣候變遷加劇複合與連動性風險，多樣化的調適選項內容及多元化組合方式極為適合因應現況所面臨的複合性氣候風險，個別公路專案選用多種調適選項分別應用於短中長期，為因應未來高度不確定性之通案作法。

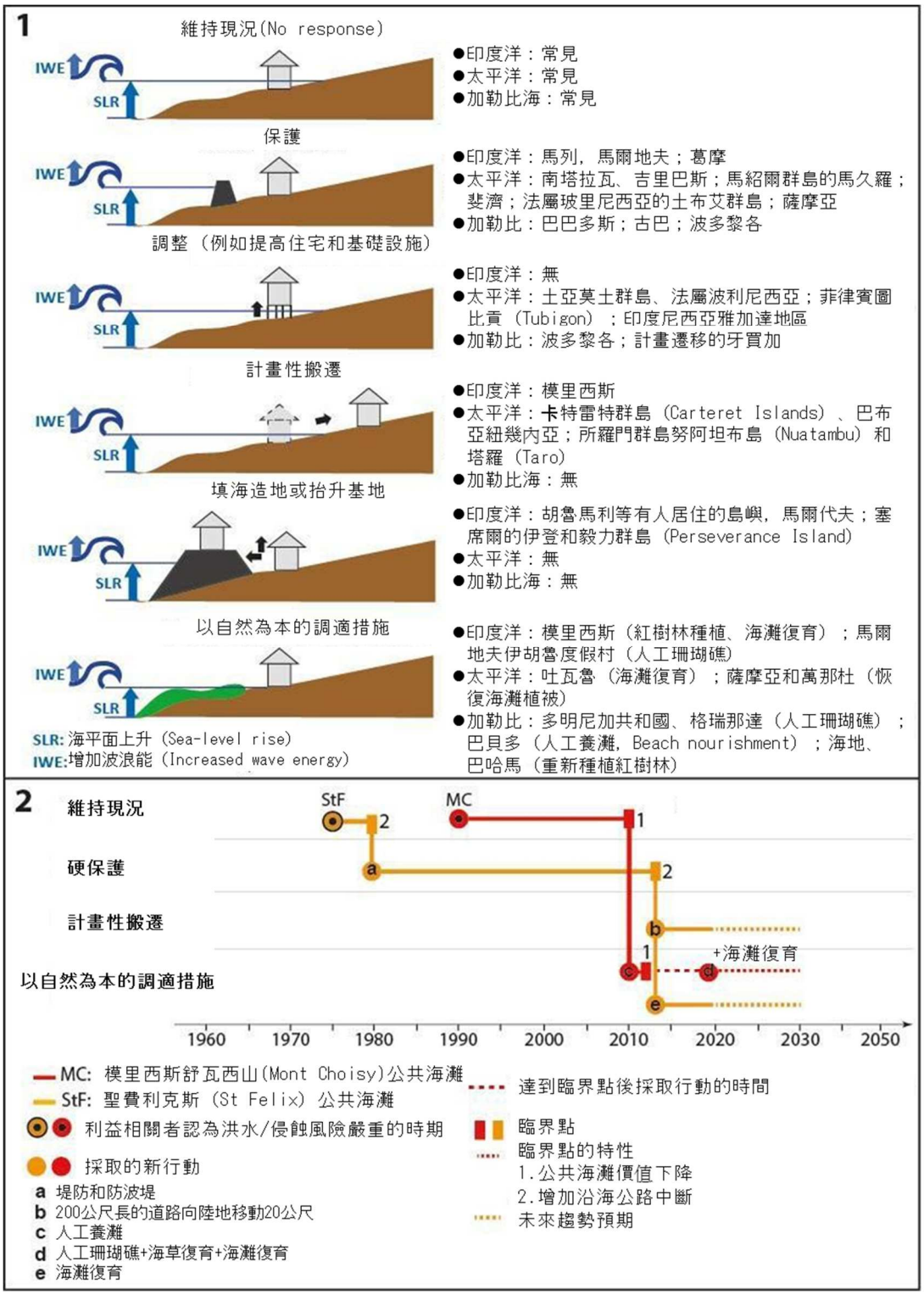
本計畫依據 IPCC AR6 綜整的調適選項類別，摘錄目前國際上應用於運輸系統之調適選項，主要可分為四大類（參見圖 2.3-14），重點說明如下：

(1) 硬保護（hard protection）：係指以硬體設施及結構做為保護，尤其在沿海地區與海島國家經常採用硬保護來保護海岸。

(2) 調整與升級（accommodation and advance as strategies）：藉由調整或升級（重新設計）公路關鍵基礎設施，以減少沿海洪氾對公路基礎設施的影響。

(3) 搬遷（migration）：搬遷在實務上作法包括規劃搬遷及重新安置，由於需投入昂貴的經濟和社會成本，被視為不得已而為之的最終選項之一。

(4) 以自然為本的調適方法（Ecosystem-based Adaptation approaches, EbA & Nature-based Solutions, NbS）：在海島國家已有充分的證據顯示實施以自然為本的調適方法可有效因應氣候風險，因此 COP26 更加關注各國所採用的 NbS，並積極投資 NbS 做為重要的氣候行動（actions）之一。



資料來源：IPCC, Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability, 2022.

圖 2.3-14 海島國家應用調適方法以降低沿海地區氣候風險

4. 美國白宮－加速以自然為本的解決方案的機會：氣候進展、豐富自然、公平及繁榮的路線圖（2022）

氣候變遷加劇，使風暴、洪水、熱浪、乾旱及野火事件逐漸惡化，桑迪颶風期間，大自然的濕地為社區和業主避免 6.25 億美元的損失，美國政府發現 NbS 作為調適選項之益處，於 2022 年地球日，將 NbS 列為國家優先事項，為促進實施 NbS 並確定聯邦政府利用 NbS 的關鍵機會，擬定《加速以自然為本的解決方案的機會：氣候進展、豐富自然、公平及繁榮的路線圖》。

該報告提供聯邦機關（構）包含五項重要關鍵建議的路線圖（詳圖 2.3-15），以使 NbS 有效發揮其成效。

本計畫摘錄該報告的五項重要關鍵說明如下：

(1) 政策

應修訂聯邦規劃、決策、成本分攤、風險管理流程和效益成本分析，以促進 NbS 之推廣，如：加快聯邦許可和審查速度、減少機關成本分攤要求、加強 NbS 在減輕危害之應用、考慮使用 NbS 替選方案及更新機關特定成本效益分析政策等。

(2) 資金

在國內和國際的資助項目中應優先考慮 NbS，增加提供給 NbS 之資金並加強資金取得便利性，促進民間投資，如：將 NbS 納入現有資金計畫、替 NbS 資金打造一站式服務並鼓勵民間投資 NbS 等。

(3) 聯邦資產

增加聯邦設施使用 NbS 的設計、改造及管理，如：在聯邦設施中推廣 NbS 及在聯邦設施資產中納入 NbS 設計等。

(4) 勞力（Work force）

優化 NbS 的相關資源及培訓以支援聯邦機構和私營部門創造良好就業機會，如：聯邦機構間共享知識及能力並增加聯邦教育訓練及工具多樣性等。

(5) 證據

因政策要求各機構依據證據進行決策，因此對於 NbS 證據的認知差距可能使 NbS 的推動受阻，建議確定研究、創新、知識和調適學習之優

先順序，並透過相關研究瞭解 NbS 如何發揮最佳效果，如：減少認知差距、為創新提供獎勵及挑戰等。



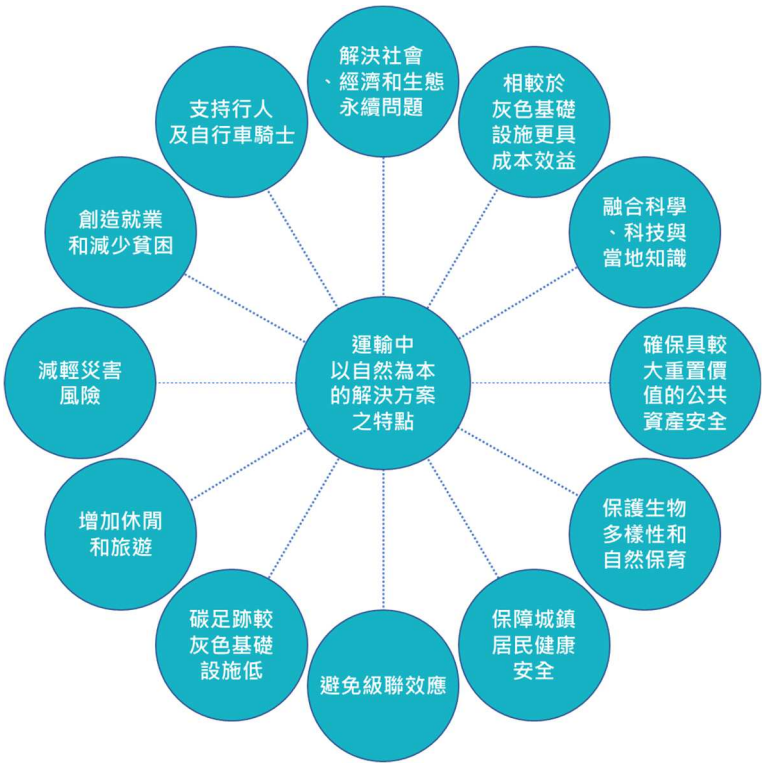
資料來源：Opportunities to accelerate naturebased solutions: a roadmap for climate progress, thriving nature, equity, & prosperity, The White House, 2022.11.

圖 2.3-15 美國以自然為本的解決方案路線圖

5. 全球性交通組織城市交通轉型倡議（TUMI）－以自然為本的解決方案運用於運輸領域（2023）

TUMI 係由德國聯邦經濟合作暨發展部（German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development, BMZ）資助，透過研究協助德國國際合作機構（Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit, GIZ）及 C40 大城市氣候領導聯盟（C40 cities）等合作夥伴打造更具氣候友善、包容性、安全性和可負擔的城市運輸。

目前全球已有多國面臨「基礎設施缺口」，需要加強交通基礎設施，然而隨著氣候變遷影響加劇，若透過以往的傳統灰色基礎設施解決基礎設施不足之問題，只會使溫室氣體排放、氣候變遷、環境退化及生物多樣性喪失等負面影響惡化，因此，城市交通轉型倡議認為可以透過以自然為本的解決方案處理基礎設施不足之問題，並於 2023 年發布《以自然為本的解決方案運用於運輸領域》，認為 NbS 不僅可解決社會、經濟和生態永續問題、確保具較大重置價值公共資產之安全及保障城鎮居民健康安全，還具有增加休閒旅遊、減輕災害風險、創造就業和減少貧困、友善行人及自行車騎士之效果等，且 NbS 相較傳統灰色基礎設施更具成本效益且製造更少碳足跡，實為運輸系統中重要的調適手段（參見圖 2.3-16）。本計畫針對該報告蒐集之各國 NbS 案例，摘錄說明如下：



資料來源：Nature Based Solutions （NBS） in the Transport Sector, Transformative Urban Mobility Initiative, 2023.4.

圖 2.3-16 運輸中以自然為本的解決方案之特點

(1) 智慧都市設計—韓國首爾的清溪川改造

韓國工業化時期，對於道路需求遽增，因此，位於首爾的清溪川被馬路包圍，最後，甚至連河川本身也被全面覆蓋改造為高架橋，原本的河川成為暗渠造成水質逐漸惡化，直至 2003 年，首爾為打造都市公園將其改造成藍綠走廊，清溪川改造後不僅成為天然空調、改善空氣品質及協助生態復育，其開放的水道甚至有助緩解城市淹水。

由於清溪川改造後周邊道路容量減少，首爾政府為解決交通問題，擴展公車捷運系統網路（Bus Rapid Transit, BRT），將其整合至公共運輸網路，清溪川周邊地區之私人運具逐漸消失、公共運輸更順暢、公共運具使用率提升，且行人和自行車騎士迅速增加。

從清溪川改造之案例發現，優先考慮行人及自行車騎士，重新分配道路空間，並透過綠色基礎設施為都市提供綠肺可有效減少溫室氣體排放、改善空氣品質、增強生物多樣性以及打造具氣候韌性的運輸基礎設施服務。

(2) 綠色廊道—哥倫比亞麥德林的綠色廊道

為改善大量使用混凝土導致的都市高溫課題，哥倫比亞麥德林（Medellín）在全市建設 30 條相互連接的綠色廊道，樹木可透過提供遮蔭、偏轉太陽輻射及釋放水分於大氣來減少建築環境熱量，相關研究指出其遮蔽之陰影表面峰值溫度可能比無陰影區域低 11˚C 至 25˚C，因此該方法使該市的氣溫降低 2˚C 以上，預計 20 年內甚至可下降 4˚C 至 5˚C；該行動顯示在都市大面積種樹不僅可以固碳、淨化空氣、改善都市生物多樣性，還可有效減少都市熱島效應。

麥德林的綠色廊道提供一致性的人行道及自行車道之體驗，透過樹木、植被、水體和綠化表面形成之天然空調，淨化空氣，提高旅途舒適性、安全性及體驗，加速都市道路轉型，朝向更重視行人及自行車騎士的模式發展。

(3) 海岸淹水及侵蝕

沿海洪水易造成公路及鐵路基礎設施損壞，透過紅樹林(mangroves)、沙丘和珊瑚礁等沿海生態系統可作為天然屏障，有效對抗海平面上升、強風、強降雨或風暴潮等自然災害。

① 植被可防止山體滑坡和減緩海平面上升威脅—海地

海地部分地區的道路和高速公路系統受到暴雨、洪水、山體滑坡和暴風雨期間的海浪衝擊受損而無法通行，並導致其須支付昂貴的維修和維護費用；為減少災害發生，海地透過復育丘陵植被、沼澤和沙丘等有助於穩定和保護海岸線的自然元素作為天然緩衝區保護道路基礎設施。

與傳統的洪水管理技術相比，NbS 不僅更具經濟效益，還具有快速執行及可與其他調適方法整合並同時執行之特性，如：若與傳統的混凝土防洪屏障同時實施，可替公路基礎設施提供更高水準的防洪保護標準。

② 透過以自然為本的解決方案抵禦洪水—英國倫敦

隨著氣候變遷影響加劇，倫敦洪水溢淹至街道的情形逐漸惡化，造成水質污染並侵蝕其他自然生態系統，因此倫敦在首都各地實施雨水花園、生態截流系統（bioswales）和透水鋪面。

透水鋪面由多孔混凝土製成，可讓水滲透路面進入土壤，而非成為地表徑流，其安裝成本及維護成本皆較低；生物窪地則是旨在濃縮和輸送雨水徑流，不僅可清除碎片及受污染的管道，還有利於補充地下水；雨水花園種植在院子裡、街道或人行道上的淺盆地中，可吸收街道、人行道和屋頂徑流，吸水性較傳統草坪高，不僅適合在有洪水風險的地區使用，還可將其引入具洪水風險地區的上游，降低洪水風險。

透過海地及英國倫敦之案例瞭解，NbS 相較於單一用途的灰色基礎設施，具有更低的成本，且於極端事件發生後的維修成本也更低。

2.3.3 國內可借鏡處

根據前述運輸系統強化調適能力之作為，以下針對先進國家運輸系統調適策略及措施、運輸系統調適選項二主題，提出可供國內借鏡之處。

1. 先進國家運輸系統調適策略及措施

針對先進國家運輸系統調適策略及措施，國內可借鏡之處重點說明如下：

(1) 調適牽涉範圍廣，多需跨部會合作，然國內跨部門協調較為困難。建議參考國際調適作法首先以「軟性（Soft）」的調適策略，如蘇格蘭及爾蘭的運輸部門從政策、規定或管理系統做調整，在規劃與開發程序中加強與其他相關單位的合作，並將氣候變遷相關規範納入國家投資計畫內，鼓勵跨部門單位共同合作相關調適研究，以利更全面性管理及因應氣候變遷的衝擊。

(2) 藉由政府政策方向的介入及引導，推動調適預算研擬的法源，依據並落實調適主流化，以爭取足夠的資金推動調適相關工作，如因全球氣候衝擊加劇，美國於 2021 年通過拜登的兩黨基礎建設法案，透過增加投資於「韌性」項目之預算，以建立更具韌性和永續性的運輸系統，全面強化基礎設施因應氣候變遷之能力。

(3) 當前全球處於氣候緊急狀態，建議制定運輸系統調適行動優先事項，如 2022 年澳洲維多利亞州針對運輸系統提出三個優先事項（Priority）及 15 項配套行動（Action），面對氣候緊急狀況針對三個優先事項，

包含提出解決當前的氣候變遷影響、降低行動阻礙、為將來的轉型變革奠定基礎，採取四年調適行動計畫，期能有效因應當前氣候危機。

(4) 最後，國外運輸系統調適策略除定期更新外，針對未來長遠計畫的布局也很重視。如紐西蘭交通部聚焦於未來十年為氣候變遷調適奠定堅實基礎，並將調適策略及措施納入長期規劃。建議國內運輸系統應研擬短期調適因應作為和長期調適需求，面對未來不確定性，調適計畫應具備彈性，並依據監測結果滾動檢討調整以符合需求。

2. 運輸系統調適選項

針對運輸系統調適選項，國內可借鏡之處重點說明如下：

(1) 回顧適用於運輸系統之調適選項近期文獻發現，國外調適研究及實務案例報告所採用的調適選項頗為多元，IPCC AR6 綜整國際上運用於運輸系統的調適選項類型包含包括硬保護（hard protection）、調整與升級（accommodation and advance as strategies）、搬遷（migration）與以自然為本的調適方法（Ecosystem-based Adaptation approaches, EbA & Nature-based Solutions, NbS）等，而多樣化的調適選項類型及多元化組合方式極為適合國內因應現況所面臨的複合性氣候風險。

(2) 由於 COP26 及 COP27 各國皆積極推廣及投資「以自然為本的解決方案（NbS）」做為重要的氣候行動，在 COP 27（2022 年 11 月）會中美國首次發布該國 NbS 路線圖（roadmap）同時增加資金挹注，展現美國期能加速並充分運用 NbS 潛力以因應氣候變遷之企圖心。而國內在實務應用上對於硬保護和調整與升級之作法並不陌生，建議配合國際調適趨勢正積極推廣 NbS 運用，建議參考美國作法提出 NbS 規劃路線圖並增加相關資金挹注，以利加速落實 NbS 實務應用、研擬 NbS 指引及配套工具開發等。

2.4 新科技應用於運輸系統調適情形

本節回顧前期計畫有關調適新科技應用之案例，並蒐集近年國內外運輸系統調適新科技應用情形以供參考。

2.4.1 前期計畫回顧

本所調適系列研究計畫於 108 年「運輸系統調適策略研究」及 109 年「運輸系統因應氣候變遷調適之研究」中，廣泛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，並提出國內應用之建議，如表 2.4-1。

表 2.4-1 鐵公路調適新科技應用之優缺點與國內適用性（前期計畫彙整）

案例名稱	科技						國內可應用處	使用限制
	感測器	IoT	大數據	AI	3D 掃描	紅外線攝影		
英國國營鐵路網公司（NR）應用物聯網系統管理排水設施	V	V					■ 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	■ 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）[3]
澳洲鐵道公司應用掃描系統管理鐵道幾何	V	V			V		■ 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	■ 可能因軌道油漬或髒汙而出現軌道掃描錯誤判斷的情況

[3] 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。

案例名稱	科技						國內可應用處	使用限制
	感測器	IoT	大數據	AI	3D掃描	紅外線攝影		
美國漢普頓市政府應用物聯網預警與管理公路淹水	V	V					■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，建議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
荷蘭鐵路利用IoT提高營運及運輸效率		V	V				■使用感測器與IoT技術於軌道設施監控軌溫、排水設施狀態、風速等將使鐵路更智慧及安全外，更可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	■須因應新的無線通訊標準調整資料傳輸裝置
美國聯邦鐵道局因應軌道挫屈						V	■以紅外線攝影監控軌道軌溫，以預設軌道挫屈 ■以紅外線攝影監控軌道邊坡狀況，以利維護與應變	■測量距離依據攝影機的機型會有一定的的限制 ■為確保測量精度，操作環境的溫度與濕度需在一定標準內
三維（3D）技術應用於蘇格蘭鐵道之勘測				V	V		■應用3D掃描器蒐集隧道狀態，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 ■應用3D掃描器蒐集道路與橋梁狀態，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	■分析之精細度取決於資料庫之完整性 ■資料蒐集為重要工作 ■3D掃描的精細度影響AI辨識精準度

案例名稱	科技						國內可應用處	使用限制
	感測器	IoT	大數據	AI	3D掃描	紅外線攝影		
東日本鐵路應用 IoT 執行維護作業、義大利應用 IoT 監控設施生命週期		V	V	V			■ 應用於鐵公路的資產管理於維護上，將養護預算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 ■ 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
斯德哥爾摩公路橋梁應用數位分身維護管理	V				V		■ 運用數位分身逐步將設施模型與資訊建立起來，以利規劃、維護與管理，例如藉由感測器收集比對機電設備或鐵軌軌道的異常聲音，以解析出哪些設備或路段需要維修 ■ 先由小規模的數位分身開始建置 ■ 數位分身也能降低營運成本，甚至有機會減少資本支出，延長它們所表徵物品的壽命，同時優化資產的表現	■ 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 ■ 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 ■ 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

資料來源：本所，運輸系統調適策略研究，109 年；本所，運輸系統因應氣候變遷調適之研究，110 年。

2.4.2 近期運輸系統調適新科技應用案例

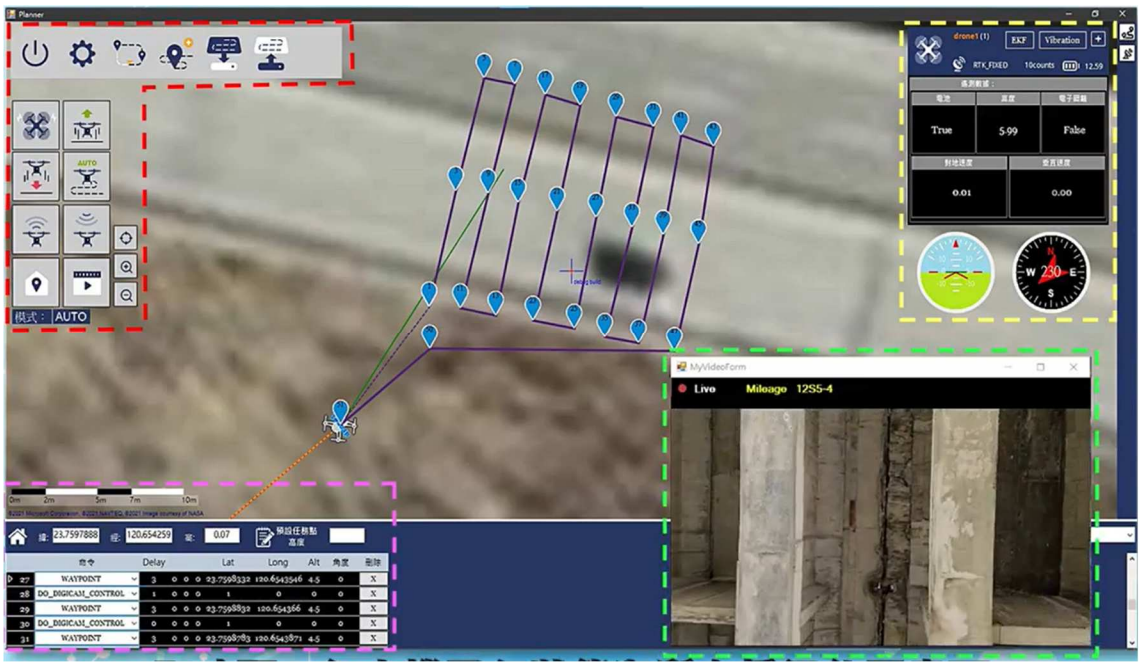
本小節延續前期計畫成果，賡續廣泛蒐集各運輸系統調適新科技應用案例。依循經濟部產業發展署所發布《全球數位科技應用發展趨勢與重點應用分析》[34]之我國新科技發展趨勢，新科技以 iABCDEF 所代表的物聯網（IoT）、人工智慧（AI）、區塊鏈 Blockchain）、雲端/資訊安全（Cloud/Cybersecurity）、數據處理技術/無人機（Data Tech/Drone）、邊緣運算（Edge Computing）與下世代 5G 通訊技術（Five G）數位智慧科技為主。近期運輸系統調適新科技應用案例蒐集如下：

1. 公路系統

(1) 交通部公路局中區養護工程分局導入無人機橋梁檢測

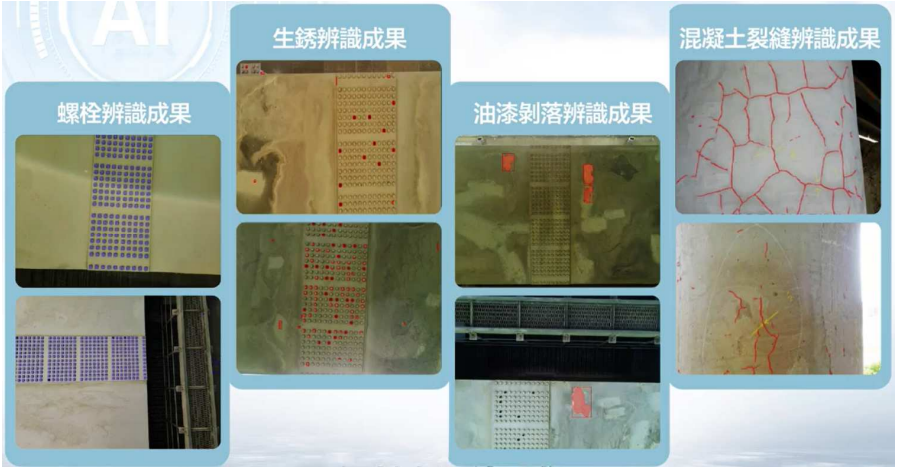
交通部公路局轄管 3,485 座橋梁，其中 1,032 座橋梁隸屬交通部公路局中區養護工程分局管轄，且其管轄橋梁中超過 20 年橋齡之橋梁高達 7 成，因此須定期進行橋梁檢測，惟部分橋梁位置險峻或構件過高，若採人力巡檢方式不僅須花費較長時間，甚至可能造成檢測人員傷亡風險。

為避免人員風險及增加檢測效率，交通部公路局與黎明工程顧問公司及工業技術研究院團隊合作進行無人機自動化橋梁檢測及劣化影像 AI 分析研究，其研究成果包含研發出可於橋底檢測時進行定位之四旋翼橋底無人機，以及運用深度神經網路（Deep Neural Network, DNN)影像進行橋梁情況辨識之 AI 影像分析系統。該研究已於 111 年完成 6 座跨河及感潮河段橋梁場域驗證，且利用 AI 辨識橋梁劣化之正確率亦高達 8 成。此技術可適用於高溫導致橋梁裂縫或強降雨導致橋墩沖刷之檢測。



資料來源：公路局官方臉書，https://www.facebook.com/watch/?v=1371383076982224，最後檢視日期：2023.11.01。

圖 2.4-1 無人機拍攝之橋梁劣化影像



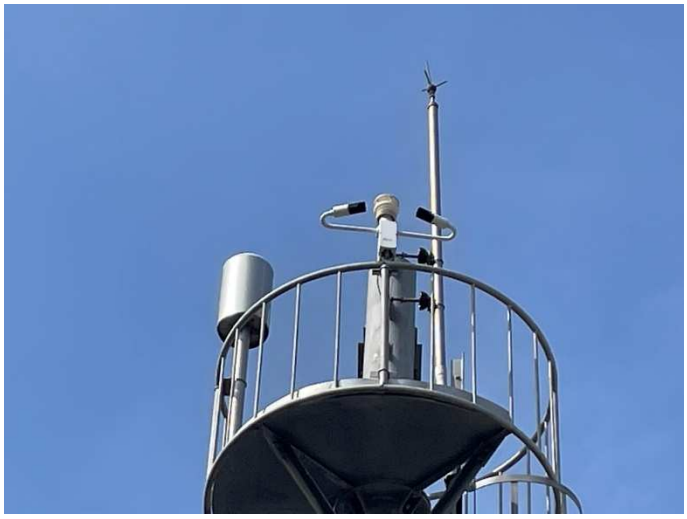
資料來源：公路局官方臉書，https://www.facebook.com/watch/?v=1371383076982224，最後檢視日期：2023.11.01。

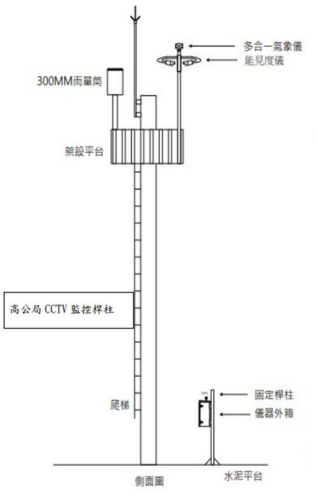
圖 2.4-2 橋梁劣化影像 AI 分析功能

(2) 交通部高速公路局與交通部中央氣象署合作設立自動氣象站

行駛於高速公路之車輛通常車速較快，因此即時天氣狀況及路況對於用路人而言十分重要，依據國外統計，天候不佳時的肇事率遠高於一般肇事率，因此，為確認高速公路即時天氣狀況，交通部高速公路局和交通部中央氣象署合作架設自動氣象站。該氣象站包含綜合氣象儀、雨量計及能

見度儀，相較過去偵測設備，可更精準測出道路周邊之強風、濃霧及降雨，即時於高速公路資訊可變標誌提醒用路人注意周邊路況。此技術可適用於強風及強降雨導致道路行車安全之檢測。





資料來源：交通部中央氣象署。

圖 2.4-3 自動氣象站示意圖

(3) 中央大學與日本合作研發人工智慧鋪面狀況調查車

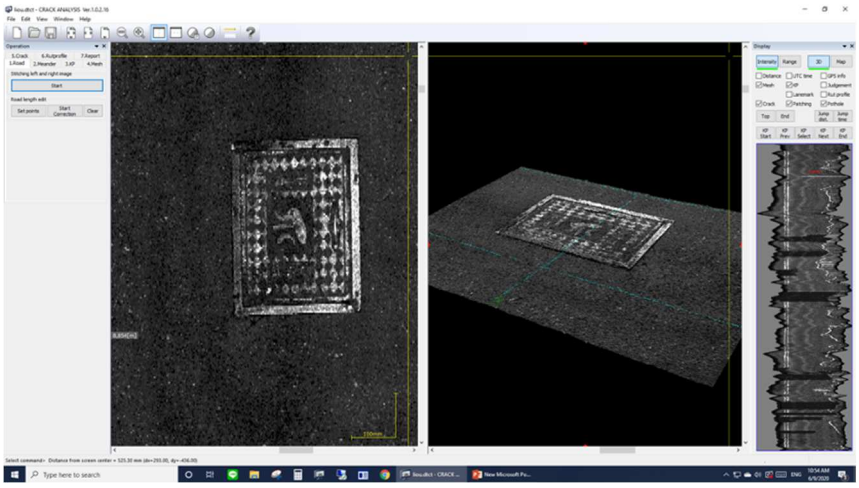
中央大學土木系於 2000 年受交通部公路局委託，引進加拿大道路用品（Roadware）公司研製之鋪面調查車（Automatic Road Analyzer, ARAN）以及鋪面維護管理系統（Pavement Management Services, PMS）概念後，為符合臺灣之鋪面工程調查與管理需求，與相關道路主管機關合作開發類似設備與系統，於 2017 年與日本日瀝株式会社共同合作開發 3D 鋪面狀況調查車，並於 2022 年成功開發「富玉攻頂一號」，其為臺灣首次成功應用 3D 鋪面影像進行自動化調查之重要里程碑。

「富玉攻頂一號」透過數據分析與效率檢討，更聚焦在鋪面平坦度、鋪面裂縫率以及車轍深度檢測，其配備高解析度線性雷射相機與影像輔助辨識軟體，因此可清楚呈現 3D 鋪面狀況，並計算各類鋪面的維護指標，還可透過檢測數據搭配相關道路資料、鋪面管理系統及人工智慧處理全面檢測鋪面狀況。此技術可適用於強降雨及高溫導致道路鋪面產生安全疑慮之檢測。



資料來源：國立中央大學，https://www.ncu.edu.tw/tw/news/show.php?num=2212，最後檢視日期：2023.11.01。

圖 2.4-4 「富玉攻頂一號」結構及檢測項目



資料來源：未來科技館-國家科學及技術委員會，https://www.futuretech.org.tw/futuretech/index.php?action=product_detail&prod_no=P0008700005582，最後檢視日期：2023.11.01。

圖 2.4-5 「富玉攻頂一號」檢測畫面示意圖

(4) 歐盟資助 GIMS 邊坡監測系統

當山體因邊坡滑動造成都市地區或公路橋梁改變位置時，往往會對當地居民造成直接影響，為避免災難和生命財產的損失，由歐盟資助的 GIMS 項目開發了一種先進的低成本系統，用於監測山體滑坡的滑動，並在滑坡運動超過給定閾值時，提供預警資訊。

監測系統係由伽利略歐洲全球導航衛星系統(GNSS)、哥白尼合成孔徑雷達（SAR）及慣性測量單元（IMU）三種科技組成，其中 GNSS 以毫米精度定點進行連續測量，SAR 係蒐集雷達數據以產製土地變形圖像，IMU 係檢測滑坡區域的傾斜和運動，以便在突然運動時即時發出警報。此技術可適用於強降雨導致邊坡滑動之檢測。



資料來源：Combining technologies to give advanced warning of landslides, https://cordis.europa.eu/article/id/430155-combining-technologies-to-give-advanced-warning-of-landslides, 2021，最後檢視日期：2023.11.01。

圖 2.4-6 GIMS 邊坡監測系統

2. 鐵路系統

(1) 臺鐵導入 AI 巡查軌道構件系統

軌道巡查是維護鐵路運輸安全的重要工作,過去軌道巡查作業採用夜間人工巡查進行,但其花費成本較高,且易受限於視察角度及光線等問題,無法有效快速進行，因此，為避免軌道異常、減少人力巡軌及人員疏失，國營臺灣鐵路股份有限公司攜手本所及大同大學合作開發「軌道構件缺失辨識系統」。

軌道構件缺失辨識系統透過將影像拍攝平車拍攝之軌道情況傳輸給 Yolo v4 AI 辨識軟體進行深度學習，使其辨識軌道是否有扣件脫落、道釘脫落、鋼軌裂縫、踏面不整、魚尾鈑裂縫、魚尾鈑螺栓脫落等構件缺失問題，辨識檢出率（recall rate）達 96%、精確率（precision rate）高達 81%。此技術可適用於高溫導致軌道構建損壞或強降雨導致軌道構建缺失之檢測。



資料來源：本所，https://www.iot.gov.tw/cp-23-206739-43125-1.html，最後檢視日期：2023.11.01。

圖 2.4-7 臺鐵影像拍攝平車



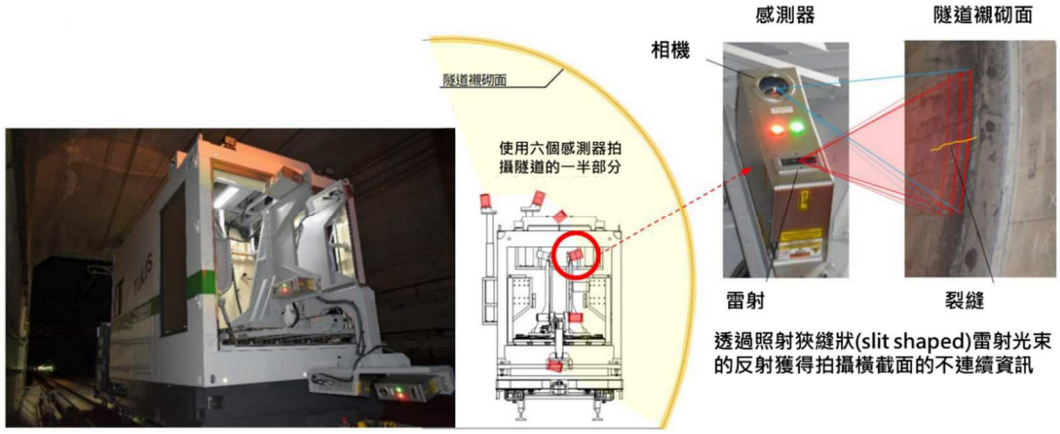
資料來源：本所，https://www.iot.gov.tw/cp-23-206739-43125-1.html，最後檢視日期：2023.11.01。

圖 2.4-8 軌道構件自動辨識畫面

(2) 東日本旅客鐵道公司使用雷射裂縫測量系統檢測隧道

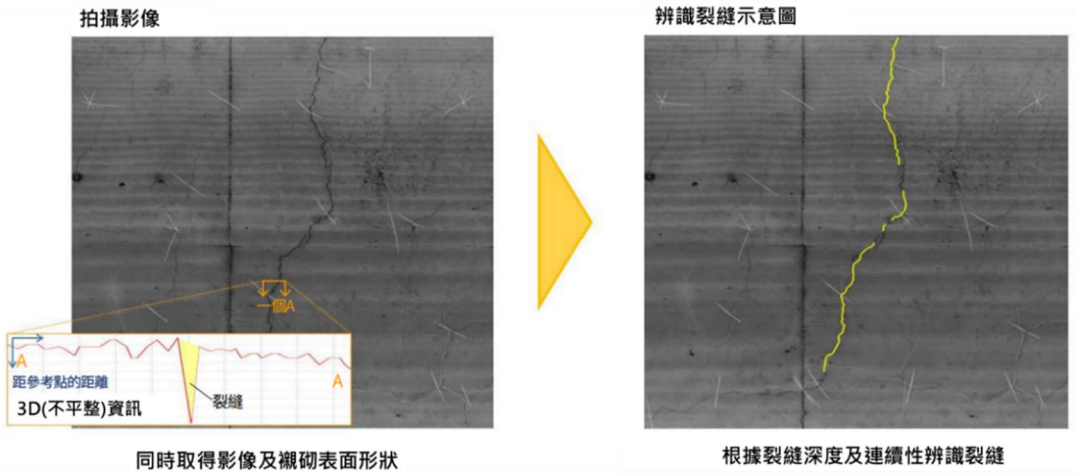
加拿大路面測量（Pavemetrics）公司研發的雷射裂縫測量系統（Laser Crack Measurement System, LCMS-2），能夠於車輛行駛時透過雷射自動對鋪面的所有重要功能參數進行地理標記、測量、檢測及量化，其檢測時間不受限於晝夜，並可接受搭載於時速 100 公里之車輛檢測鋪面而不影響其解析度，因此可有效節省鋪面檢測的人力及時間。

東日本旅客鐵道公司（East Japan Railway Company, JR-EAST）於 2020 年升級隧道掃描車（Tunnel Lining Scanning Car, TuLIS），該新車配備 6 個 LCMS-2，可透過雷射獲得高解析度的 2D 及 3D 影像，因此能夠快速獲得隧道襯砌表面的高準確度影像並辨識表面不平整的狀態。此技術可適用於強降雨沖刷及高溫導致隧道產生裂縫之檢測。



資料來源：新しい新幹線用トンネル覆工表面撮影車の導入について，JR 東日本，最後檢視日期：2023.11.01。

圖 2.4-9 隧道掃描車運作示意圖



資料來源：新しい新幹線用トンネル覆工表面撮影車の導入について，JR 東日本，最後檢視日期：2023.11.01。

圖 2.4-10 隧道襯砌掃描車拍攝影像示意圖

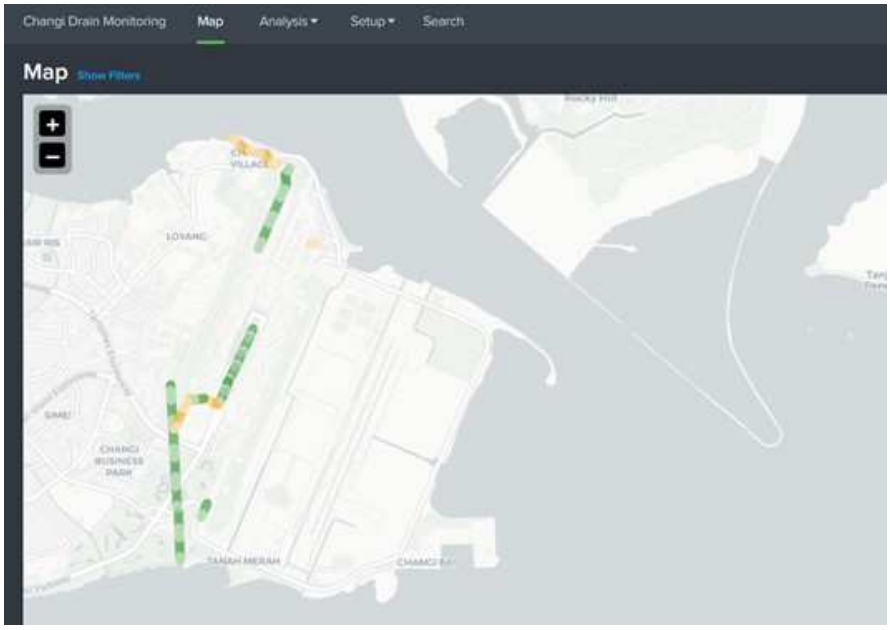
3. 空運系統

新加坡樟宜機場使用 IoT 感測器監控排水及跑道狀況，說明如下：

(1) 排水口之太陽能感測器

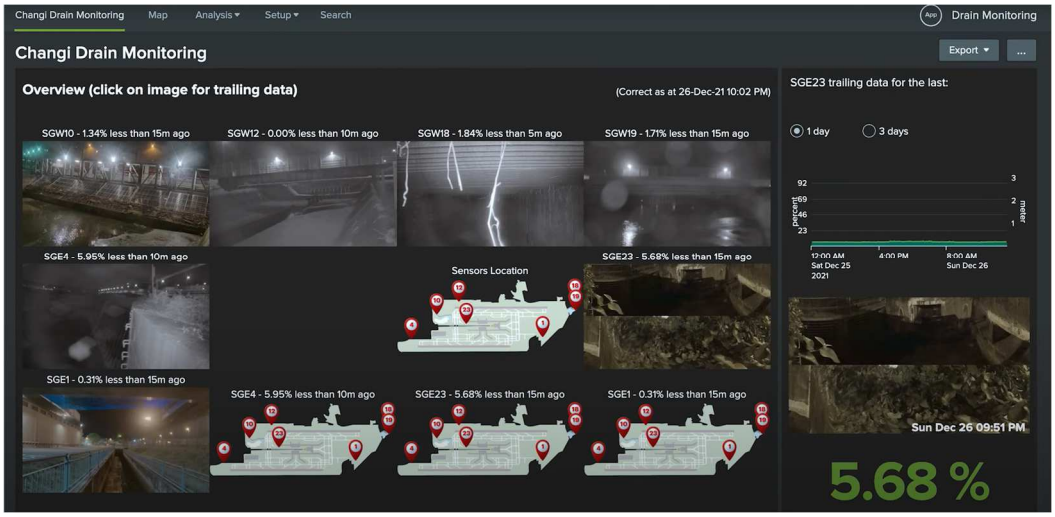
氣候變遷使洪水越加頻繁，為強化樟宜機場基礎設施之氣候變遷調適能力，樟宜機場團隊（Changi Airport Group, CAG）增加機場排水管容量，並引進太陽能感測器來監測排水狀況，該感測器能提供滯留池即時影像、即時監控排水管內之積水，且可將數據傳輸至中央系統分析數據並預測未來趨勢供工程團隊於手機或電腦參考，以防止機場大道沿線和機場內發生洪水。

該感測器於 2021 年 9 月成功幫助樟宜機場阻止潛在的洪水氾濫，當時樟宜機場恰逢特大暴雨結束，而感測器發現機場滯留池排水口水位異常上升，因此發出警報提醒工程團隊，使工作人員能迅速前往確切位置清淤，避免機場因排水不良淹水。此技術可適用於檢測強降雨導致之機場排水失能。



資料來源：Changi Airport, https://www.changiairport.com/corporate/media-centre/changijourneys/the-airport-never-sleeps/google-drain-map.html, 最後檢視日期：2023.11.01。

圖 2.4-11 樟宜機場管理平台顯示排水溝狀態



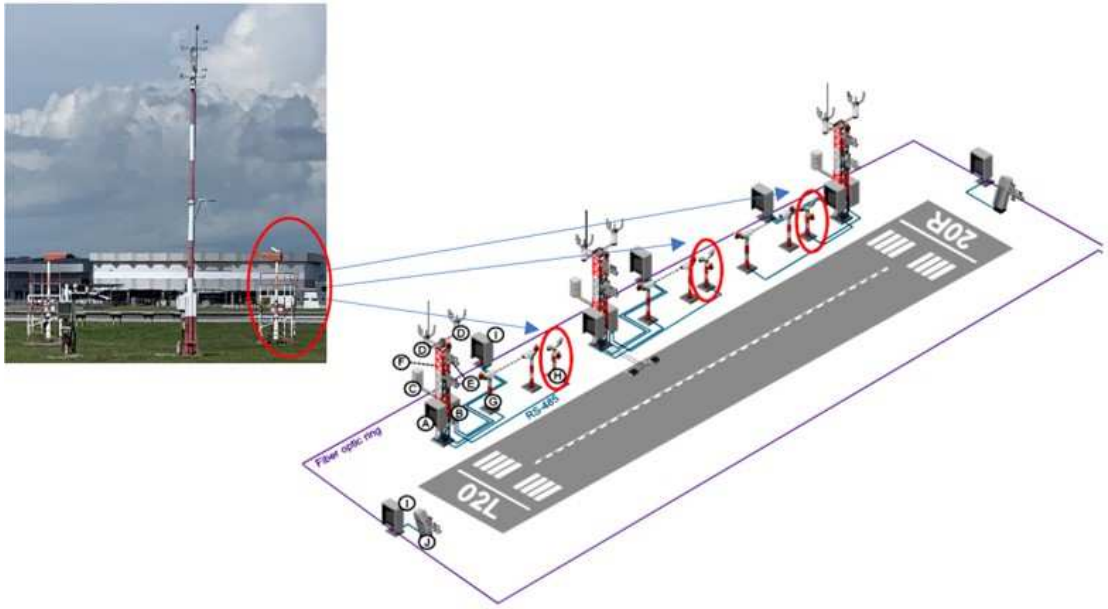
資料來源：Changi Airport, https://www.changiairport.com/corporate/media-centre/changijourneys/the-airport-never-sleeps/google-drain-map.html, 最後檢視日期：2023.11.01。

圖 2.4-12 樟宜機場排水監測系統

(2) 新增感測器完善跑道狀況回報系統

機場跑道對於空運而言十分重要，桃宜機場也為監測跑道狀況開發新的跑道狀況回報系統（runway condition reporting system）。桃宜機場原先便有可自動偵測跑道異物之攝影機，且近年氣候變遷極端天氣事件逐年增加，因此該系統更著重於桃宜機場面臨強降雨時之監測回報功能，並研發出更先進之雷射感測器，該感測器能同時發射多道雷射，並藉由反射之雷射計算跑道積水程度。

該系統透過瞬時降雨強度感測器蒐集瞬時降雨強度並使用差示掃描量熱法（Differential Scanning Calorimetry, DSC）感測器繪製跑道表面積水狀況、路面坡度及表面紋理等，將資料進行分析處理後即時將資訊傳送給空中交通管制員（air traffic controllers）及飛行員，使空中交通管制員更瞭解運行時的環境因素，並使飛行員調整飛機起飛及著陸之狀況。此技術可適用強降雨導致機場跑道異常檢測。



資料來源：Changi Airport, https://www.changiairport.com/corporate/media-centre/changijourneys/the-airport-never-sleeps/automate-runway-condition-report.html, 最後檢視日期：2023.11.01。

圖 2.4-13 瞬時降雨強度感測器分布示意圖

4. 海運系統

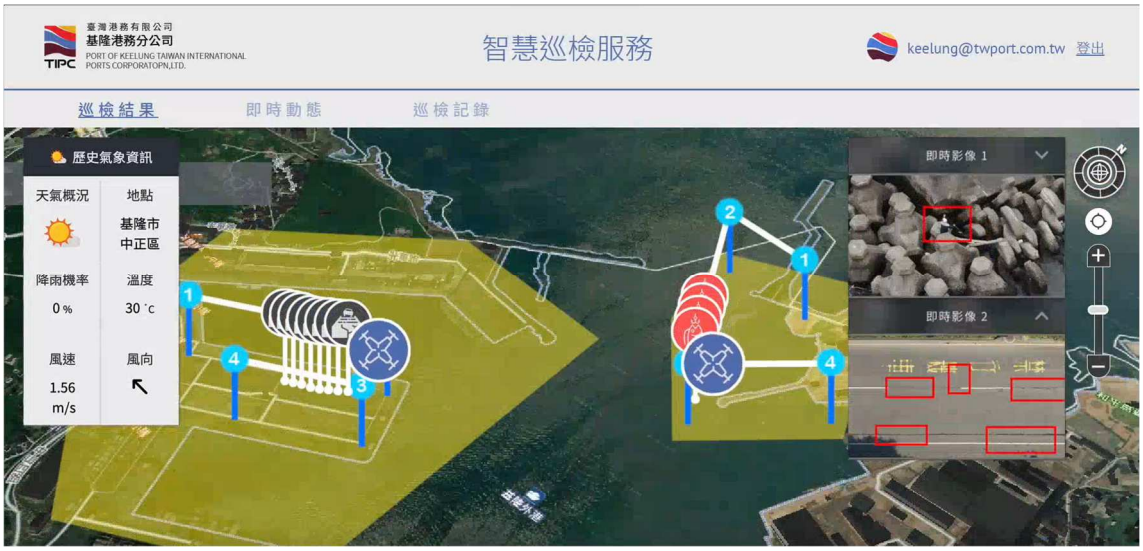
臺灣港灣導入 5G 及 AI 監測港口狀況，說明如下：

(1) 5G 智慧海港無人載具應用

為響應交通部「5G 帶動智慧交通技術與服務創新及產業發展補助計畫」，中華電信整合集團資源與產業攜手港務公司，推動「5G 智慧海港無人載具應用及 UTM 服務功能驗證計畫」，該計畫於 2022 年以基隆港區作為試驗場域，透過無人機、無人船與水下海事機器人等無人載具，建立基隆港區空域與海域的 5G 智慧巡檢全方位解決方案。

(2) 搭配 AI 智能分析

該計畫搭配 AI 智能分析、UTM 無人載具智慧監管平台及中華電信的 5G 企業專網傳輸無人載具資料全面掌握港區狀況。因為 5G 本身具有高速率、低延遲、大連結等特性，可使無人載具更迅速傳輸港區資料，進而提升巡檢效率及增強港區的安全性並優化海港環境運作。此技術可適用於風暴朝導致港口構建損壞或強降雨導致港口構建缺失之檢測。



資料來源：中華系統整合股份有限公司官網，https://www.ch-si.com.tw/5gservice/5g-drone/footagecapture/，最後檢視日期：2023.11.01。

圖 2.4-14 智慧巡檢服務平台



資料來源：中華系統整合股份有限公司官網，https://www.ch-si.com.tw/5gservice/5g-drone/footagecapture/，最後檢視日期：2023.11.01。

圖 2.4-15 無人機載具作業示範

2.4.3 小結

回顧國內外運輸系統調適新科技應用情形發現，目前國內運輸系統在調適新科技應用上已與國外接軌，尤其國內長期以來推動智慧運輸系統發展建設，迄今已呈現具體且豐富的成果，國內實務案例多應用設施巡檢及監測/檢測，如臺鐵導入 AI 巡查軌道構件系統、公路局中區養護工程分局導入無人機橋梁檢測、臺灣港灣擬導入 5G 及 AI 監測港口狀況等，其新科技應用除了結合 IoT、AI、無人機等，且搭配 5G 通訊技術更可優化提升效能，展現國內運輸系統設施機關不遜於國外之新科技運用能力。

第三章 公路規劃階段調適案例蒐集與研析

本章旨在蒐集與研析國內外公路系統規劃階段調適案例，並針對重要國內外案例深入研析，提出可供國內借鏡之處，以供公路系統設施權責主管機關具體落實應用調適指引，並做為滾動檢討公路調適指引之參考。

以下內容分為 3 節，各節之主題依序為 3.1 節公路規劃階段調適案例蒐集與重點摘錄；3.2 節公路規劃階段調適重要案例研析；最後，根據相關案例分析成果，於 3.3 節提出國內可借鏡之處。

3.1 公路規劃階段調適案例蒐集與重點摘錄

根據前期研究成果之公路系統規劃階段調適指引架構，本節嘗試針對規劃三階段廣泛蒐集國內外相關案例，透過國內外調適案例蒐集與研析，針對案例調適操作經驗進行初步分析，以探討規劃階段調適實務工作推動方向及重點。

3.1.1 公路規劃階段調適案例蒐集範疇界定

1. 案例蒐集範疇及架構

依據公路系統規劃階段調適指引，公路系統規劃流程融入調適概念各階段包含第一階段「氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析」、第二階段「初步評估影響調適能力氣候風險因素」與第三階段「氣候變遷風險評估」。

案例分析以上述三階段架構為基礎，考量「初步評估影響調適能力氣候風險因素」與「氣候變遷風險評估」具同質性，故在案例分析上予以整併，另考量氣候變遷調適選項針對氣候風險提出因應手段，為調適工作中重要一環，綜合上述說明，後續將依照「氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析」、「氣候變遷風險評估」及「因應氣候變遷調適選項」三個主要工作項目為架構進行案例蒐整分類。

為增進該指引使用者瞭解各調適工作項目實際內容與執行方式，以利後續實務應用，同時考量各國、各地區公路規劃調適案例在資料完整性及分析程序上可能有所差異，因此各案例將依照不同工作項目進行拆解分析。

國外案例蒐集範疇為與臺灣面臨相似氣候衝擊的條件下，所採用之氣候情境、風險評估及調適選項，並盡可能涵蓋不同面向之案例（如環境區位條件、災害類型），例如國內以強降雨為主要面臨之氣候壓力，而強降雨常常引發低窪地區發生淹水及山區邊坡土石崩落等情事。

2. 案例蒐集資料來源

本團隊將廣泛蒐集國外各組織、機構、計畫、研究中，於公路系統規劃階段強化調適能力之實際案例，案例資料主要來源包含但不局限於以下：

(1) 美國聯邦公路管理局（Federal Highway Administration, FHWA）

美國聯邦公路管理局（FHWA）為美國交通部轄下機構，通過向各州和地方政府提供財政和技術援助，以支持其設計、建設和維護美國國家公路系統。針對環境永續與韌性議題，由於美國於氣候科學領域研究發展較早，因此 FHWA 網站公開許多其執行、補助或蒐整之氣候變遷調適相關示範計畫、研究計畫可供參考，且皆以公路系統為其探討之主體。

(2) 歐洲氣候調適平臺（European Climate Adaptation Platform, Climate-ADAPT）

歐洲氣候調適平臺 Climate-ADAPT 為歐盟執行委員會與歐盟環境署（EEA）共同成立之平臺，主要提供歐洲國家、跨國與歐盟的氣候變遷預測、脆弱度評估成果、調適策略與行動、潛在調適選項、調適案例研究、調適規劃工具等進行氣候變遷調適工作所需之多元資訊與工具，其中調適案例研究部分蒐整了歐盟在農業、生物多樣性、建築、能源、金融、衛生、交通等多元領域之實際案例，本計畫將參考其中於交通領域之氣候變遷調適相關案例。

(3) 世界公路協會（World Road Association, PIARC）

世界公路協會（PIARC）成立於 1909 年，是一個促進公路相關知識交流與共享的非營利、非政府性國際組織，成員包含來自 140 多個國家的個人、企業、政府單位和組織，主要透過舉辦 4 年一度的世界公路大會、各類技術研討會等方式促進交流，至今已舉辦過 26 屆世界公路大會。本計畫主要參考其於 2022 推出的技術報告《Climate Change, Other Hazards and Resilience of Road Networks: A PIARC Collection of Case Studies》[35]，

該技術報告彙整了來自全球 24 個國家、6 大洲的 71 項與公路系統氣候變遷調適相關的案例。

(4) 歐盟 FORESEE 計畫

FORESEE 計畫是一項由歐盟資助的合作研究計畫，其計畫名稱源自「應對極端事件的韌性運輸網絡未來策略（Future proofing strategies FOr RESilient transport networks against Extreme Events）」，目標是為政府當局和管理人員提供一套解決方案，以在交通基礎設施的整個生命週期（規劃、設計、施工、營運和維護）中預測、吸收、調適潛在的風險並快速復原能力。本計畫參考 FORESEE 計畫成果報告中透過不同案例展示其所開發之解決方案，案例涵蓋不同規模、風險、資產、國家。

(5) 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺（Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform, TCCIP）

臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺（TCCIP）在國科會的支持下，以提供臺灣氣候變遷科學與技術研究服務為宗旨，平臺不斷精進氣候變遷推估技術與能力、發展氣候變遷風險評估與調適工具、深入淺出轉譯氣候變遷科學數據、強化科學研究與實務應用的連結、加強與服務對象的溝通，提供符合公部門、學研單位、企業及社群機構氣候變遷資料、資訊、知識、工具一站式服務。本計畫參考其中調適百寶箱所彙整之國內外參考案例。

3.1.2 公路規劃階段調適案例清單及重點摘錄

1. 氣候變遷情境選擇參考案例

氣候變遷情境選擇參考案例整理如表 3.1-1，可以發現在未來情境之降雨、海平面上升等數據方面，多數研究採用過往已完成之研究成果（案例 1、3、4、5、6、7、8），部分研究則透過氣候模型進行數值模擬（案例 2）。

取得未來情境數據後，可以再依照各案例需要，進行降尺度處理（案例 2、3、4）或加入氣候事件調整（案例 5、6、8）；此外，未來推估情境除了應用於後續氣候風險評估外，也可以應用於調適措施之設計上（案例 8）。

表 3.1-1 氣候變遷情境選擇參考案例彙整表

編號	英文名稱	中文名稱	執行單位	案例年期	案例說明
1	Climate Change Engineering Vulnerability Assessment of Three British Columbia Highway Segments	英屬哥倫比亞三段高速公路段的氣候變遷工程脆弱度評估	加拿大英屬哥倫比亞交通與基礎設施部 (BCMoTI)	2014.03	使用加拿大维多利亞大學太平洋氣候影響聯合中心(PCIC)的歷史氣象觀測資料及對於未來的推估成果，針對 1971-2000 與 2041-2070 年間進行前後比較分析
2	Development of Site-Specific Hydrologic and Hydraulic Analyses for Assessing Transportation Infrastructure Vulnerability & Risks to Climate Change	開發特定場址的水文和水力分析以評估其交通基礎設施對氣候變遷的脆弱度和風險	美國賓夕法尼亞州運輸部 (PennDOT)	2020.09	使用 RCP 4.5、8.5 兩種排放情境，透過 8 種全球氣候模型(GCM)，比較分析歷史和未來平均最大每日降雨量比率(1950-2005、2006-2050、2051-2099)，並使用基於統計降尺度(ESDM)方法將大網格的降雨數據降尺度處理，以利進行地區性未來降雨推估
3	Precipitation and Temperature Impacts on Rock and Soil Slope Stability: Interstate I-77 in Carroll County, Virginia	降雨及溫度對岩石及土壤邊坡穩定性的影響：維吉尼亞州卡羅爾縣 I-77 州際公路	美國維吉尼亞州運輸部 (VDOT)	2016.09	使用 RCP4.5、6.0、8.5 三種排放情境，使用美國墾務局(USBR)公開的降尺度數據，使用 2035-2054、2055-2074、2080-2099 三個未來時間段的推估每日最低溫度、最高溫度、降雨量，以推估未來降雨及凍融日數變化
4	Living Shoreline along Coastal Roadways Exposed to Sea Level Rise: Shore Road in Brookhaven, New York	暴露於海平面上升的沿海公路沿線的綠色海岸線：紐約布魯克海文的沿海公路	美國聯邦公路管理局 (FHWA)	2016.09	使用美國國家科學研究委員會(NRC)和 IPCC 預測的高、中、低海平面上升情境，並考量局部垂直運動影響，根據美國陸軍工兵團(USACE)的海平面變化曲線計算器和鄰近的兩個 NOAA 驗潮儀，評估在 1992 至 2100 年間的地區性海平面上升情形
5	Post-Hurricane Sandy Transportation Resilience Study of NY, NJ, and CT：NJ Route 7 Corridor, Kearny, NJ	桑迪颶風後針對紐約、紐澤西及康乃狄格州的運輸韌性研究：紐澤西州卡尼鎮 7 號公路走廊	美國聯邦公路管理局 (FHWA)	2017.10	根據過往研究推估成果(2100 年海平面上升 0.8-1.5 米)，設定 2050 及 2100 年海平面上升高、中、低情境(1.5 米、1 米、0.5 米)，並使用 2 年潮汐風暴(FEMA-FIS)與桑迪颶風潮汐風暴(NOAA)等數據進行調整推估

編號	英文名稱	中文名稱	執行單位	案例年期	案例說明
6	Post-Hurricane Sandy Transportation Resilience Study of NY, NJ, and CT：New Jersey: South Shore of Raritan Bay	桑迪颶風後針對紐約、紐澤西及康乃狄格州的運輸韌性研究：紐澤西州拉里坦灣南岸	美國聯邦公路管理局(FHWA)	2017.10	根據美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)發表於 USACE 之北大西洋海洋綜合研究推估之 2050 及 2100 年海平面上升高情境(2.2ft、7.1ft)，並以 100 年重現期風暴事件(FEMA-FIS)及氣溫變化(ClimAID)等數據進行調整推估
7	Coastal Green Infrastructure to Enhance Resilience of State Route 1, Delaware	以沿海綠色基礎設施增強德拉瓦州 1 號公路的韌性	美國德拉瓦州運輸部(DelDOT)	2018.06	使用德拉瓦州自然資源和環境控制部(DNREC)建議的海平面上升高、中、低情境(1.5 米、1 米、0.5 米)，評估至 2100 年的海平面上升情形
8	Green Infrastructure Techniques for Resilience of the Oregon Coast Highway	俄勒岡海岸高速公路韌性的綠色基礎設施技術	美國奧勒岡州運輸部(ODOT)	2017.01	使用美國國家科學研究委員會(NRC)過往研究推估得出之 2050 年海平面上升高情境，加上 100 年重現期風暴事件，情境條件主要用於設計調適選項

資料來源：1.https://www2.gov.bc.ca/gov/content/transportation/transportation-environment/climate-action/adaptation，最後檢視日期：2023.06.30。

2. https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/pilots/2018-2020_pilots/penndot_pilot_project/，最後檢視日期：2023.06.30。

3.https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/ongoing_and_current_research/teacr/va_slopes/#toc461201470，最後檢視日期：2023.06.30。

4.https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/ongoing_and_current_research/teacr/ny_shore_road/#toc461204722，最後檢視日期：2023.06.30。

5.https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/publications/hurricane_sandy/appendix_e/page07.cfm，最後檢視日期：2023.06.30。

6.https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/publications/hurricane_sandy/appendix_d/page02.cfm，最後檢視日期：2023.06.30。

7.https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/ongoing_and_current_research/green_infrastructure/delaware/，最後檢視日期：2023.06.30。

8.https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/ongoing_and_current_research/green_infrastructure/oregon/chap00.cfm，最後檢視日期：2023.06.30。

2. 氣候變遷風險評估參考案例

氣候變遷風險評估參考案例整理如表 3.1-2，可以發現氣候風險評估的程度依照資料完備度與評估需求程度，主要可以分為透過專家問卷及評分量表的半定量評估方式（案例 1、2）、透過統計方法計算的數值評估方式（案例 6）與應用軟體模型進行模擬評估（案例 3、4、5、6、7）等。此外，在氣候風險評估成果的呈現上，可以透過氣候風險矩陣表（案例 1）或氣候風險地圖（案例 2、6、7）等方式呈現。

表 3.1-2 氣候變遷風險評估參考案例彙整表

編號	英文名稱	中文名稱	執行單位	案例年期	案例說明	區位屬性	氣候壓力
1	Climate Change Engineering Vulnerability Assessment of Three British Columbia Highway Segments	英屬哥倫比亞三段高速公路段的氣候變遷工程脆弱度評估	加拿大英屬哥倫比亞交通與基礎設施部 (BCMoTI)	2014.03	透過專家工作坊以評分量表方式，評估路段各個組成部分在 13 個氣候條件下的風險程度(發生機率(1-7 分)x 嚴重程度(1-7 分))	海岸、內陸公路	降雨、風暴
2	Development of a Climate Adaptation Strategy for the InnovA58 highway in the Netherlands	為荷蘭 InnovA58 高速公路制定氣候調適策略	Leijstra, M., Van Muiswinkel, K., Leendertse, W., & Bles, T.	2018.04	使用 ROADAPT 方法，透過工作坊以半定量方式進行風險評估(衝擊(1-4 分)x 可能性(1-4 分))，確定五個關鍵風險，並產出脆弱性地圖	內陸公路	極端降雨、洪水
3	Precipitation and Temperature Impacts on Rock and Soil Slope Stability: Interstate I-77 in Carroll County, Virginia	降雨及溫度對岩石及土壤邊坡穩定性的影響：維吉尼亞州卡羅爾縣 I-77 州際公路	美國維吉尼亞州運輸部 (VDOT)	2016.09	透過 SLOPE/W 軟體，評估未來降水量增加情況下造成的地下水位升高及土壤重量增加，與斜坡安全係數和破壞趨勢的關係	山區公路	極端降雨
4	Coastal Green Infrastructure to Enhance Resilience of State Route 1, Delaware	以沿海綠色基礎設施增強德拉瓦州 1 號公路的韌性	美國德拉瓦州運輸部 (DelDOT)	2018.06	初步評估以 NOAA 沿海洪水暴露測繪儀評估洪水淹沒情形；詳細評估使用 LiDAR 地面高程、道路竣工數據等現地資料，建模評估不同事件下的洪水影響情形	海岸公路	海平面上升、洪水

編號	英文名稱	中文名稱	執行單位	案例年期	案例說明	區位屬性	氣候壓力
5	Development of Site-Specific Hydrologic and Hydraulic Analyses for Assessing Transportation Infrastructure Vulnerability & Risks to Climate Change	開發特定場址的水文和水力分析以評估其交通基礎設施對氣候變遷的脆弱度和風險	美國賓夕法尼亞州運輸部 (PennDOT)	2020.09	將推估降雨量作為重要水力參數，使用 HEC-HMS、HEC-RAS 評估洪水量、洪水位及速度，並評估對道路橋梁的影響	內陸公路	極端降雨、洪水
6	Keeping Climate Impacts at Bay in Boston	遏制波士頓氣候衝擊	美國馬薩諸塞州運輸部 (MassDOT)	2016.12	使用蒙地卡羅統計方法得到未來年洪水發生機率及深度，並使用耦合模型 BH-FRM 模擬沿海風暴造成的影響，若洪水深度超過設計標準則定義為暴露資產	海岸公路	海平面上升、風暴
7	Post-Hurricane Sandy Transportation Resilience Study of NY, NJ, and CT：New Jersey: South Shore of Raritan Bay	桑迪颶風後針對紐約、紐澤西及康乃狄格州的運輸韌性研究：紐澤西州拉里坦灣南岸	美國聯邦公路管理局 (FHWA)	2017.10	評估研究區域在不同年度、海平面上升高情境及風暴情境下的預估水位，並產出淹沒範圍圖及評估設施受影響的等級	海岸公路	海平面上升、暴潮

資料來源：1. https://www2.gov.bc.ca/gov/content/transportation/transportation-environment/climate-action/adaptation，最後檢視日期：2023.06.30。

2. https://www.platformomgevingsmanagement.nl/，最後檢視日期：2023.06.30。

3.https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/ongoing_and_current_research/teacr/va_slopes/#toc461201470，最後檢視日期：2023.06.30。

4.https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/ongoing_and_current_research/green_infrastructure/delaware/，最後檢視日期：2023.06.30。

5. https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/pilots/2018-2020_pilots/penndot_pilot_project/，最後檢視日期：2023.06.30。

6.https://highways.dot.gov/public-roads/novemberdecember-2016/keeping-climate-impacts-bay-boston，最後檢視日期：2023.06.30。

7.https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/publications/hurricane_sandy/appendix_d/page02.cfm，最後檢視日期：2023.06.30。

3. 氣候變遷調適選項參考案例

氣候變遷調適選項參考案例整理如表 3.1-3，可以發現氣候變遷調適選項同樣可以依照資料完備度與需求程度進行不同程度的設計，主要分為初步提出建議（案例 1）、提出調適選項清單（案例 7、8）與針對選定調適選項進行成本效益分析（案例 2、3、4、5、6），其中調適選項的細部研擬，可透過選定特定地點、氣候壓力或未來情境（案例 4、5、6），將有助於進行更詳細的規劃及設計；此外，部分案例在調適選項上也融入了以自然為本的解決方案（NbS）概念（案例 2、3、5、6），運用自然系統或融入自然元素來增加氣候韌性。

表 3.1-3 氣候變遷調適選項參考案例彙整表

編號	英文名稱	中文名稱	執行單位	案例年期	案例說明	區位屬性	氣候壓力
1	Precipitation and Temperature Impacts on Rock and Soil Slope Stability: Interstate I-77 in Carroll County, Virginia	降雨及溫度對岩石及土壤邊坡穩定性的影響：維吉尼亞州卡羅爾縣 I-77 州際公路	美國維吉尼亞州運輸部 (VDOT)	2016.09	初步提出梯田措施（Terracing Measures）、添加攔截溝等手段處理邊坡不穩定問題，但未說明成本及效益	山區公路	極端降雨
2	Living Shoreline along Coastal Roadways Exposed to Sea Level Rise: Shore Road in Brookhaven, New York	暴露於海平面上升的沿海公路沿線的綠色海岸線：紐約布魯克海文的沿海公路	美國聯邦公路管理局 (FHWA)	2016.09	提出放棄保護、傳統保護、基於自然的保護三種調適方案，並評估比較其優缺點、成本及效益	海岸公路	海平面上升、暴潮
3	Resilience and Durability to Extreme Weather Pilot Project: Laguna Shores Road in Corpus Christi, Texas	極端天氣下的韌性和耐久性試驗計畫：德克薩斯州科珀斯克里斯蒂市拉古納沿海公路	美國德州科珀斯克里斯蒂大都會規劃組織 (Corpus Christi MPO)	2021.06	研究礁球防波堤、拋石防坡堤、填充沼澤（Marsh Fill）之成本及效益	海岸公路	海平面上升、暴潮

編號	英文名稱	中文名稱	執行單位	案例年期	案例說明	區位屬性	氣候壓力
4	Post-Hurricane Sandy Transportation Resilience Study：NJ Route 7 Corridor, Kearny, NJ	桑迪颶風後針對紐約、紐澤西及康乃狄格州的運輸韌性研究：紐澤西州卡尼鎮 7 號公路走廊	美國聯邦公路管理局 (FHWA)	2017.10	針對 2100 年中等海平面上升和 2 年潮汐情景設計調適策略，提出提高部分路段並建造海堤，並評估其成本效益、環境影響	海岸公路	海平面上升、暴潮
5	Coastal Green Infrastructure to Enhance Resilience of State Route 1, Delaware	以沿海綠色基礎設施增強德拉瓦州 1 號公路的韌性	美國德拉瓦州運輸部 (DelDOT)	2018.06	針對 2 個選定地點進一步規劃設計，提出合適的調適選項並計算其成本及效益，調適選項包含恢復沼澤和牡蠣殼礁岸	海岸公路	海平面上升、洪水
6	Green Infrastructure Techniques for Resilience of the Oregon Coast Highway	俄勒岡海岸高速公路韌性的綠色基礎設施技術	美國奧勒岡州運輸部 (ODOT)	2017.01	針對 3 個選定地點，2050 年海平面上升高等情境下之 100 年重現期風暴事件，提出相應的綠色調適選項，並評估其優劣勢及建造成本	海岸公路	海平面上升、暴潮
7	Development of Site-Specific Hydrologic and Hydraulic Analyses for Assessing Transportation Infrastructure Vulnerability & Risks to Climate Change	開發特定場址的水文和水力分析以評估其交通基礎設施對氣候變遷的脆弱度和風險	美國賓夕法尼亞州運輸部 (PennDOT)	2020.09	開發兩種韌性設計清單，適用典型橋梁、適用與溪流平行的道路，比較各韌性設計選項在現在與未來(2100 年 RCP 8.5)的成效差異	內陸公路	極端降雨、洪水

編號	英文名稱	中文名稱	執行單位	案例年期	案例說明	區位屬性	氣候壓力
8	Post-Hurricane Sandy Transportation Resilience Study of：New Jersey: South Shore of Raritan Bay	桑迪颶風後針對紐約、紐澤西及康乃狄格州的運輸韌性研究：紐澤西州拉里坦灣南岸	美國聯邦公路管理局(FHWA)	2017.10	團隊根據範圍內其他計畫及研究，創建了一個綜合考量風險承受能力、投資水準、長短期等因素的調適工具箱	海岸公路	海平面上升、暴潮

資料來源：1.https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/ongoing_and_current_research/teacr/va_slopes/#toc461201470，最後檢視日期：2023.06.30。

2.https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/ongoing_and_current_research/teacr/ny_shore_road/#toc461204722，最後檢視日期：2023.06.30。

3. https://www.corpuschristi-mpo.org/05_projects_rdewpp.html，最後檢視日期：2023.06.30。

4.https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/publications/hurricane_sandy/appendix_e/page07.cfm，最後檢視日期：2023.06.30。

5.https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/ongoing_and_current_research/green_infrastructure/delaware/，最後檢視日期：2023.06.30。

6.https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/ongoing_and_current_research/green_infrastructure/oregon/chap00.cfm，最後檢視日期：2023.06.30。

7. https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/pilots/2018-2020_pilots/penndot_pilot_project/，最後檢視日期：2023.06.30。

8.https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/publications/hurricane_sandy/appendix_d/page02.cfm，最後檢視日期：2023.06.30。

3.1.3 公路規劃階段調適案例初步分析

本小節針對前述三個主要階段之案例蒐集成果進行初步分析，以下說明主要發現：

1. 氣候變遷情境多數選擇高、中、低情境推估，並視需要進行數據調整

在未來情境之降雨或海平面上升等數據方面，主要來自過往研究或氣候模型模擬，並視需要進行降尺度處理或加入氣候事件調整，推估情境，如美國聯邦公路管理局在紐澤西州拉里坦灣南岸的案例中，使用美國國家海洋暨大氣總署（NOAA）推估的海平面上升高情境，加入 100 年重現期風暴事件及氣溫變化進行調整推估。

上述提到的未來氣候情境推估研究成果，多由國家具公信力之科學研究單位執行，如美國國家科學研究委員會（NRC）、美國國家海洋暨大氣總署（NOAA）、加拿大維多利亞大學太平洋氣候影響聯合中心（PCIC）等。

2. 氣候變遷風險評估考量資料完備度及需求程度以半定量或定量方式進行

氣候變遷風險評估方式主要可以分為半定量方式及定量方式，半定量方式包含以專家問卷及評分量表的方式進行，定量方式則包含以統計方法計算或以軟體模型模擬。

此外，評估結果的程度也可以分為初步評估（如有/無受影響）或詳細評估（如風險等級），在評估成果的呈現上，可以透過氣候風險矩陣表或氣候風險地圖等方式呈現。

3. 氣候變遷調適選項可考量資料完備度及需求程度，提出初步建議、研擬調適選項清單或進一步選定地點進行成本效益分析

調適選項提出程度主要可以分為初步提出建議、提出調適選項清單與針對選定調適選項進行成本效益分析，其中調適選項的選定，透過選定特定地點、氣候壓力或未來情境，將有助於進一步評估其成本效益。

此外，也可以看到越來越多案例在調適選項的設計上融入了以自然為本的解決方案（NbS）的概念在其中，有助於提升氣候韌性。

3.2 公路規劃階段調適重要案例研析

依據前一節案例蒐整成果，本節將進一步挑選重要案例進行研析，由於根據案例所在區位不同會面臨不同的氣候壓力因素，在三個主要階段的細部操作上也會有所不同。因此，在重要案例挑選上因應國內公路區位不同屬性（如公路系統位於山區或沿海），原則上須於「氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析」、「氣候變遷風險評估」及「因應氣候變遷調適選項」三個主要階段皆有實際說明，以做為完整調適實務範例。

本節細分為 4 小節，3.2.1 至 3.2.3 小節分別針對沿海、內陸及山區挑選國外案例進行研析；3.2.4 小節則針對國內桃園國際機場第三跑道及基礎設施綜合規劃案例進行研析，由於國內公路系統尚無完整系統性考量調適案例，因此透過其他運輸系統之調適經驗以供公路機關權責單位做為借鏡。

3.2.1 美國聯邦公路管理局（FHWA）沿海公路調適案例

本小節引介美國聯邦公路管理局（FHWA）針對桑迪颶風（Sandy Hurricane）後運輸韌性系列研究中，位於紐澤西州拉里坦灣南岸（South Shore of Raritan Bay in New Jersey）的一項示範計畫《桑迪颶風後針對紐約、紐澤西及康乃狄格州的運輸韌性研究：紐澤西州拉里坦灣南岸》（Post-Hurricane Sandy Transportation Resilience Study in NY, NJ, and CT：South Shore of Raritan Bay, New Jersey）[36]，以實例說明沿海區域公路系統進行氣候變遷調適之相關經驗。

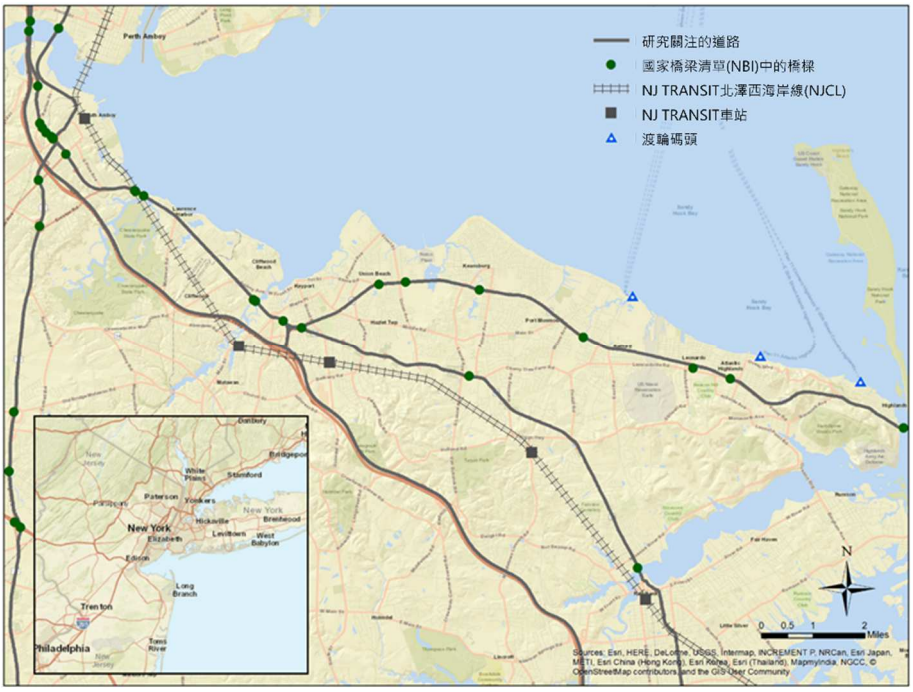
1. 研究背景

桑迪颶風後運輸韌性系列研究中共包含 3 項區域性、10 項設施性示範研究，本研究為其中一項區域性示範研究，研究區域位於紐澤西州拉里坦灣南岸，包含米德爾塞克斯縣（Middlesex County）和蒙茅斯縣（Monmouth County）從拉里坦河（Raritan River）到納維辛克河（Navesink River）與海岸線平行的主要公路和鐵路線（如圖 3.2-1），由於其為區域運輸網絡中特別脆弱的一個地區，該區域運輸系統長期受到沿海風暴的影響，研究將進行區域尺度的脆弱度及風險評估，旨在掌握此區域未來可能經歷的氣候衝擊以及對於運輸設施的影響程度，並針對氣候風險較高的地區，提出潛在可行的調適策略。

2. 氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析

研究首先針對拉里坦灣地區運輸系統過去曾受到的氣候壓力與其所造成的影響，以及受影響的運輸設施進行整理，並提到 2012 年 10 月的桑迪颶風以及其他沿海風暴，在拉里坦灣地區造成了嚴重的災害，因此研究主要聚焦在海平面上升及風暴潮此兩項氣候壓力，並假設風、溫度的影響在整個研究區域是一致的。

研究指出，拉里坦灣南岸運輸系統為該區域主要通勤路線，同時為重大沿海風暴發生前、中、後之疏散及救災路線，因此應使用較高標準的海平面上升及波浪高度情境來進行分析，針對其他縣道或地方道路，則使用中等或較低標準的情境即可。



資料來源：Federal Highway Administration, Post Hurricane Sandy Transportation Resilience Study in NY, NJ, and CT, 2017.

圖 3.2-1 研究區域：拉里坦灣南岸

研究使用了美國國家海洋和大氣管理局（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）製作並發布在美國陸軍工程兵團（U.S. Army Corps of Engineers）北大西洋海岸綜合研究（North Atlantic Coast Comprehensive Study, NACCS）中的桑迪海平面上升「高推估」情景，海拔以 1988 年北美垂直基準（NAVD88）表示，並結合另一項聯邦緊急事務管理

局（Federal Emergency Management Agency, FEMA）對研究範圍進行的洪水保險研究，得出研究區域在 100 年頻率的風暴事件下，靜態水面高程之高標準值為 13 英尺、波浪作用下浪高之高標準值為 6.8 英尺，並推估 2050 年及 2100 年的海平面上升情境與波浪高度的關係如表 3.2-1 所示，其中無波浪作用的靜態水位高程較適用於靠近內陸地區，沿海地區則應考量波浪作用。

表 3.2-1 未來氣候情境下的洪水位對照表

		波浪高度	
		100 年頻率的風暴事件	100 年頻率的風暴事件 +6.8 英尺浪高
海平面上升	基線（0.00 英尺）	13.00 英尺	19.80 英尺
	2050 年（+2.22 英尺）	15.22 英尺	22.02 英尺
	2100 年（+7.10 英尺）	20.10 英尺	26.90 英尺

資料來源：Federal Highway Administration, Post Hurricane Sandy Transportation Resilience Study in NY, NJ, and CT, 2017.

3. 氣候變遷風險評估

(1) 脆弱度評估

① 脆弱分析：橋梁淹沒風險

針對橋梁的脆弱分析，研究使用國家橋梁清單（National Bridge Inventory, NBI）中第 71 項屬性代碼來識別橋梁的淹沒風險，在相同條件下，針對不同層級的道路系統，會有不同的淹沒風險，如表 3.2-2 所示，研究團隊將 NBI 代碼重新分組為 6 大類（C0 至 C5），代表了不同程度的淹沒風險，如表 3.2-3 及圖 3.2-2 所示。

表 3.2-2 NBI 代碼分級對照表

NBI 代碼	主幹道、州際公路、高速公路或快速道路	其他主要和次要道路、主要聯絡道路	其他聯絡道路、地方道路
N	a	a	a
9	b	b	b
8	c	c	c
7			d
6	d	d	e
5		e	f
4	e	f	g
3	f	g	
2	g / h / i	h / i	i
1			
0	j	j	j

資料來源：Federal Highway Administration, National Bridge Inventory, Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges, 1995.

表 3.2-3 NBI 代碼與淹沒風險對照表

淹沒風險代碼	NBI 代碼	說明
C5	a	橋梁不位於水道之上
	b	橋面和道路在高淹水位之上，淹沒的可能性非常小
C4	c	橋面在道路之上，淹沒道路的可能性很小
	d	淹沒橋面和道路的可能性很小
C3	e	橋面在道路之上，道路偶爾會淹沒造成輕微交通延誤
C2	f	橋面在道路之上，道路偶爾會淹沒造成重大交通延誤
C1	g	橋面和道路偶爾淹沒，造成重大交通延誤
	h	橋面和道路經常淹沒，造成重大交通延誤
	i	橋面和道路經常或偶爾淹沒，造成嚴重的交通延誤
C0	j	橋梁關閉

資料來源：Federal Highway Administration, National Bridge Inventory, Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges, 1995.



資料來源：Federal Highway Administration, Post Hurricane Sandy Transportation Resilience Study in NY, NJ, and CT, 2017.

圖 3.2-2 2016 年（基準年）橋梁淹沒風險

② 脆弱分析：淹水深度

研究團隊針對主要區域運輸設施面臨海平面上升和風暴潮的可能性，以 GIS 進行了初步分析評估，以識別區域運輸網絡最脆弱的部分，研究方法主要可以分為以下三步驟：

a. 確定風暴潮/海平面上升預測情境下的水位：詳表 3.2-1。

b. 確定運輸設施高程：將鐵路和公路等線資料轉換為密集的點資料，並將數值高程模型（Digital Elevation Model, DEM）的高程數據提取到點資料中。

c. 計算淹水深度：在不同的風暴潮/海平面上升情景下，按設施計算淹水深度，以水位減去運輸設施高程，正數表示資產暴露於洪水中，並顯示淹水深度。

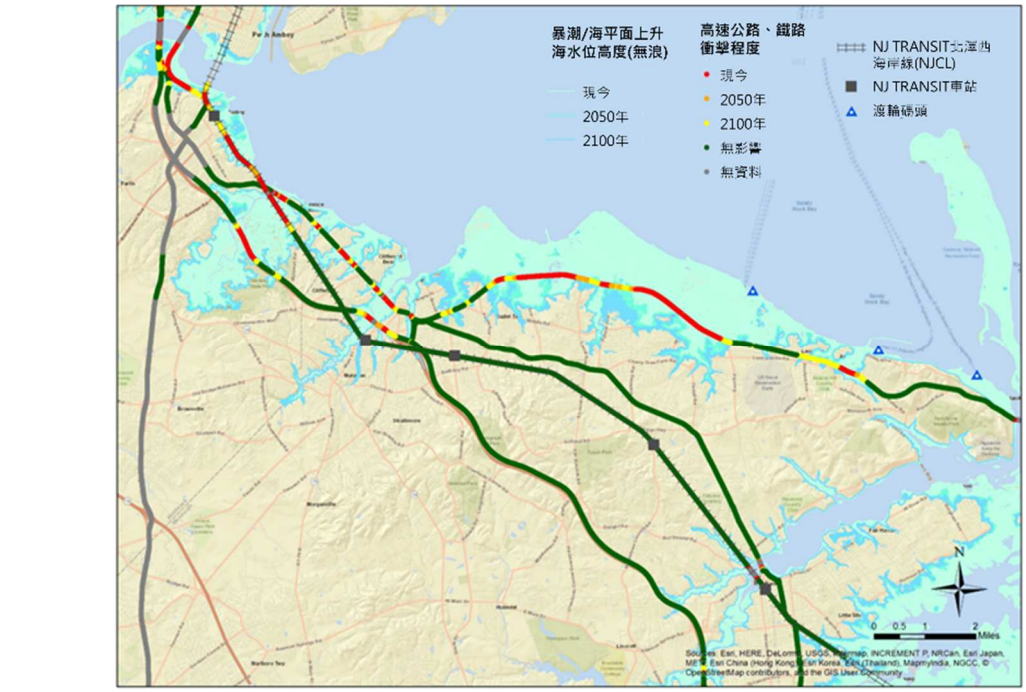
評估結果確定了區域中幾個主要暴露區域及運輸設施，如表 3.2-4、圖 3.2-3 所示，極易受到風暴潮和海平面上升影響的區域和設施包括拉里坦河南岸、勞倫斯港地區（Laurence Harbor）、起司奎克溪（Cheesequake Creek）周圍的濕地，以及研究區域東部海岸線附近的

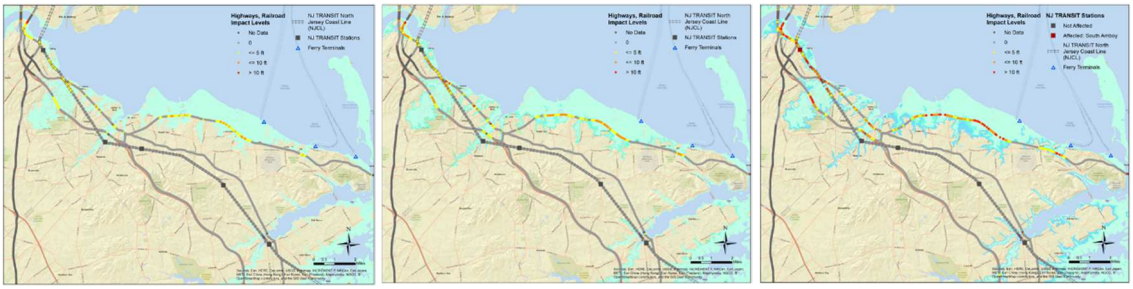
NJ36 的重要部分。橋梁和涵洞部分，除了位於大西洋高地（Atlantic Highlands）的霍斯福德大道（Hosford Ave.）/第七大道（7th Ave.）地區的橋梁和涵洞外，其餘並未受到重大影響。研究方法主要是評估相對的暴露程度，若需要瞭解特定運輸設施更準確的淹水深度估計，則應進一步進行水文分析。

表 3.2-4 易受風暴潮影響的區域

高風險區域	受影響資產
1.拉里坦河（Raritan River）南岸、河口	US 9、NJ 35、花園州立公園大道（Garden State Parkway, GSP）和北澤西海岸線靠近拉里坦河段
2.勞倫斯港（Laurence Harbor）-起司奎克溪（Cheesequake Creek）	NJ 35、花園州立公園大道橫跨起司奎克溪；北澤西海岸線從南安博伊（South Amboy）穿過起司奎克溪/斯特朗普（Strump）溪氾濫平原
3.馬塔灣溪（Matawan Creek）	NJ 35 和花園州立公園大道橫跨馬塔灣溪
4.聯合海灘（Union Beach）	NJ 36 聯合海灘段
5.蒙茅斯港（Port Monmouth）	NJ 36 蒙茅斯港段
6.霍斯福德大道（Hosford Ave.）/第七大道（7th Ave.）	霍斯福德大道和第七大道之間的 NJ 36、CR 516 交叉路口附近涵洞

資料來源：Federal Highway Administration, Post Hurricane Sandy Transportation Resilience Study in NY, NJ, and CT, 2017.





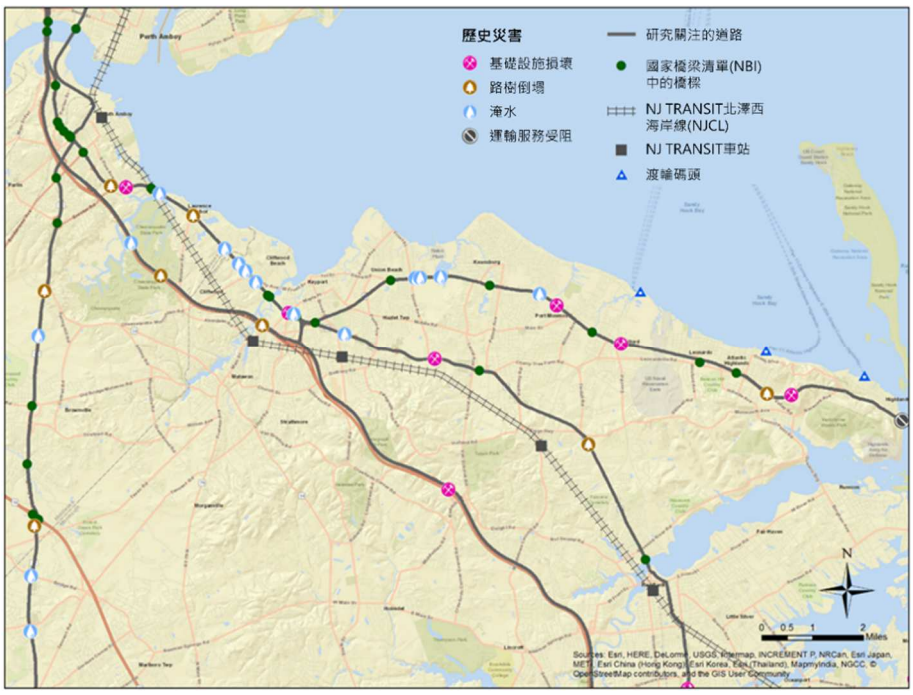
2016 年/ 13 英尺　　2050 年/ 15.22 英尺　　2100 年/ 20.1 英尺

資料來源：U.S. Army Corps of Engineers, North Atlantic Coast Comprehensive Study: Resilient Adaptation to Increasing Risk, January 2015.

圖 3.2-3 高海平面上升情境下 100 年頻率風暴事件風暴潮淹水深度

③ 脆弱分析：歷史災害

研究區域長期以來一直受到包括桑迪颶風在內的沿海風暴影響，這些影響大多為基礎設施受損、樹木倒塌、淹水、服務中斷等，圖 3.2-4 顯示了包括桑迪颶風在內的 4 個歷史風暴事件造成的主要災害影響位置，從圖中可以發現相較於偏向內陸的 NJ 35，沿海的 NJ 36 受到較多影響，包括聯合海灘地區的多起道路洪水、蒙茅斯港地區的洪水和基礎設施受損、靠近大西洋高地的事故，而研究範圍西側受到的影響又較東側為多。



資料來源：New Jersey Department of Transportation, Federal Highway Administration Headquarters and New Jersey Division Office, TRANSCOM.

圖 3.2-4 歷史災害事件影響區位

④ 敏感性分析

運輸設施對於氣候壓力源的敏感性，取決於強度、頻率及持續時間等 3 個變量，由於研究區域缺乏針對過去事件的破壞程度或損失的完整紀錄，因此研究係透過區域交通管理聯盟（Regional Transportation Management Coalition）、運輸司令部（TRANSCOM）、紐澤西州運輸部之存檔事件報告、緊急救濟金申請紀錄等資料，初步整理過往事件的破壞程度和損失紀錄，未來應針對歷史事件進行完整記錄，才能提供更多調適上有用的資訊。

除此之外，也缺乏對於過去事件洪水持續時間的掌握，因此本研究僅著重分析運輸設施是否可能遭到淹沒，針對淹沒深度及持續時間等進一步資訊，應透過更完整的事件紀錄及水文建模來獲得，也有利未來進行投資的成本效益分析。

⑤ 調適能力與後果分析

調適能力是衡量運輸系統能夠多快適應一段公路或鐵路線關閉所帶來的影響，在拉里坦河和馬塔灣溪之間，NJ 35 和起司奎克溪交

叉路段、花園州立公園大道和北澤西海岸線是最大的脆弱點，以下說明其調適能力。

- NJ 35 和北澤西海岸線都靠近拉里坦灣，隨著未來海平面上升，淹水的頻率預計都會增加。
- 花園州立公園大道位於內陸地區，由於道路海拔高度高，且起司奎克溪周圍的沼澤提供風暴潮和波浪的自然緩衝，在一定程度上免受風暴潮和海平面上升的影響。
- 當 NJ 35 和花園州立公園大道關閉時，NJ 34 和 US 9 可以成為其替代道路，儘管這些公路在通勤或遊客高峰期時不會有剩餘的道路容量。
- 北澤西海岸線服務中斷時，可以使用 NJ TRANSIT 公路巴士替代，或在非高峰時段轉為自行開車。

(2) 風險評估

① 暴露度：交通量/乘客量

為了粗略估計氣候事件對運輸設施可能造成影響的程度，研究團隊整理研究區域不同公路段、橋梁的交通量和北澤西海岸線的乘客量，假定在事件發生的情況下，具有較高交通量和乘客量的路段受阻，造成的後果會更加嚴重。

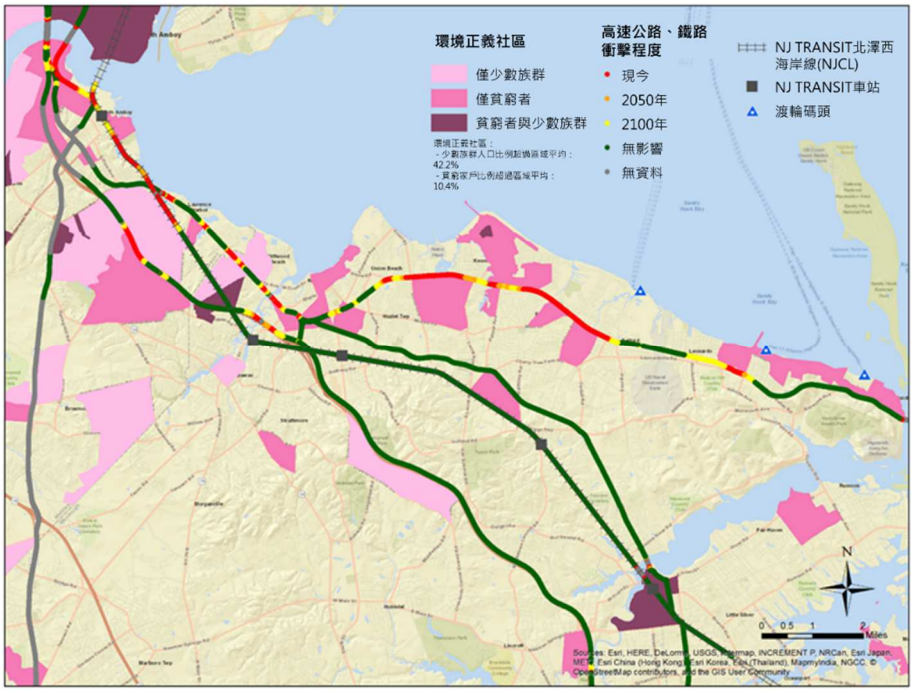
在公路系統方面，儘管交通量數據某些地方的統計年份不完整，但仍然為分析研究區域公路系統相對影響後果提供了足夠的資訊，依照交通量來看，花園州立公園大道是研究區域交通量最大的公路設施，再者是 US 9 公路，NJ 35 公路則在研究範圍東部的交通量較大。

在北澤西海岸線方面，研究區域內有三個車站，佔每個工作日路線總乘客量的 18%，South Amboy 有 1,050 人次、Aberdeen-Matawan 有 2,554 人次、Hazlet 有 876 人次，然而 South Amboy 受阻所產生的後果可能高於 Aberdeen-Matawan 和 Hazlet，因為其站點位置更靠近研究區域內側，影響的通勤旅次也可能較多。

② 環境正義

除了交通量和乘客量以外，還有許多其他因素會影響風險評估結果，研究團隊還調查了研究區域的環境正義，因為在經濟和社會上脆弱的社區，在面臨淹水災害等環境影響時，可能會有更嚴峻的挑戰。

有關環境正義社區的定義，研究使用少數民族人口占比高於區域平均 42.2%，或者低收入人口比例高於區域平均 10.4%，其分布如圖 3.2-5 所示，此外，研究區域西側人口密度較高，氣候事件造成的影響也會較人口密度低的地區大。



資料來源：New Jersey Department of Transportation.

圖 3.2-5 可能受風暴潮影響的環境正義社區和運輸設施

③ 風險評估結果

整體而言，拉里坦灣南岸的整體氣候風險很高，由於研究不包括氣候事件發生機率的計算，因此以在基準年、2050 及 2100 年於 100 年頻率氣候事件下的淹沒程度作為代替。

研究結果顯示，研究範圍西側拉里坦河、勞倫斯港和馬塔萬溪等地區是風險最高的地區，這裡的人口、車流較大，設施間距離也較近，有多處地方在 NOAA 高海平面上升情景下，2050 年淹沒深度可能超

過 5 英尺，2100 年淹沒深度可能超過 10 英尺，且與少數民族或低收入人口較多的社區重疊。

此外，NJ 36 公路經過研究範圍中段的聯合海灘和蒙茅斯港以及經過西側的大西洋高地部分，也服務了較多的少數民族或低收入人口。

4. 因應氣候變遷調適選項

在制定調適策略前，應充分掌握研究區域過去相關的調適計畫或研究，才能在與其他機構和權利關係人合作的基礎下，制定合適且需要的調適策略，研究區域包含的調適計畫和研究包含：

- 北澤西海岸線跨拉里坦河段吊橋替換
- 北澤西海岸線南安博伊到阿伯丁段信號和通信設備提高及更換
- 蒙茅斯港防洪措施，包含堤壩、防洪牆、沙丘和海灘
- 肯斯堡海灘（Keansburg Beach）降低颶風和風暴災害風險計畫
- 高地沿海風暴風險管理可行性研究
- 聯合海灘降低淹水風險可行性研究
- 基波特地區（Keyport）降低淹水風險可行性研究
- 萊昂納多（Leonardo）降低淹水風險可行性研究
- NJ 35 公路橫跨起司奎克溪段吊橋修復

研究團隊針對拉里坦灣南岸提出了一系列未來可以考慮的潛在調適選項範例，並依據風險承受能力、投資水準和長短期區分為四象限，如表 3.2-5 所示。

- 左上象限：調適選項更傾向於管理而不是預防氣候事件
- 右上象限：調適選項更關注調適能力和減少後果，但隨著氣候風險增加，也考量了物理基礎設施的問題
- 左下象限：調適選項更關注於以更積極的方法解決未來可能出現的潛在設施損壞
- 右下象限：針對重大事件可能造成的嚴重災損提出預防措施

表 3.2-5 研究區域潛在調適選項範例表

	短期	長期
高風險承受/低投資水準	▪ 更新和維護道路事件通知和反應系統，包括疏散路線。為 GSP 兩個最脆弱的區域制定明確的操作計畫。 ▪ 北澤西海岸線和渡輪碼頭的洪水和強風事件的運輸協調和應變計畫。利用公車路線以靈活應對不同的淹水情境。 ▪ 定期與 USACE 和其他權利關係人協調，以確保調適策略互補，並找出不足之處。 ▪ 更好地追蹤災害損失資訊，以便為未來的規劃提供資訊。 ▪ 將調適納入現有的規劃流程，並在已計畫的基礎設施項目新建和更新時納入海平面上升預測。 ▪ 主要運輸走廊沿線的樹枝和其他易受風影響的植被修剪。 ▪ 南安博伊變電站防洪。	▪ 對 GSP 脆弱的部分實施防洪措施。 ▪ 針對未曾被淹沒的混凝土密封劑（sealant）/表面進行表面處理。 ▪ 金屬元件的陰極保護（Cathodic protection）。 ▪ 提高或重新配置易受影響的電氣/通訊設備。 ▪ 為經常發生洪水的路側區域提供表面保護，如植被。 ▪ 修正鐵路速限指南以考慮到極端高溫對軌道的影響。 ▪ 提高公車運量和強化道路網絡。 ▪ 更頻繁地檢查易受熱影響的基礎設施，如鐵軌。 ▪ 增加對主要運輸走廊沿線排水道的定期維護。 ▪ 對南安博伊變電站進行更積極的防洪措施，如提高或搬移。
低風險承受/高投資水準	▪ 為 GSP 最脆弱的部分調查和實施防洪措施，包括提高高風險設施的高度。 ▪ 如果 NBI 資訊過時，則對橋梁進行沖刷關鍵性評估（Scour Criticality Assessment）。考慮到洪水氾濫的嚴重後果，優先考慮拉里坦河上的橋梁。 ▪ 考慮到 Many Mind Creek 的 36 號公路發生洪水的可能性相對較高，調查並實施防洪措施。 ▪ 以強化的 ITS 基礎設施向通行的旅行者提供最新訊息，以增加替代道路和需求管理的容量，並使事件反應系統的通知更實用。 ▪ 提高研究區域公路系統和北澤西海岸線南北替代疏散路線的容量。 ▪ 對南安博伊變電站進行更積極的防洪措施，如提高或搬移。	▪ 與權利關係人協調，在尚無保護措施的脆弱地區增加一般海岸保護措施，如防洪牆、堤壩、海灘養護。 ▪ 對於經常發生洪水地區的沿海橋梁，橋梁結構應考量能夠抵抗側流和波浪。 ▪ 在經常發生洪水的道路和北澤西海岸線採取護堤和其他措施。 ▪ 更積極的侵蝕控制策略。 ▪ 進一步提高南北疏散道路的通行能力。 ▪ 提高公車運量。 ▪ 加強電力基礎設施，使其在極端事件中保持運行，能夠持續為交通、信號、ITS 供電。 ▪ 加強港口、碼頭的船舶固定裝置。 ▪ 護舷或海豚系統（Fender or dolphin systems）保護易受攻擊的碼頭和其他基礎設施免受船隻撞擊。 ▪ 洪水易淹土地之徵用或鼓勵搬遷。

資料來源：Federal Highway Administration, Post Hurricane Sandy Transportation Resilience Study in NY, NJ, and CT, 2017.

5. 研究結論與建議

(1) 紐澤西州運輸部、NJ TRANSIT 和當地交通機構應共同制定區域範圍的調適策略，以解決相鄰海灣的人口稠密地區所有基礎設施的脆弱和風險問題。

(2) 在相關調適計畫完成後，應持續監測氣候壓力源及其影響，以利未來能夠更準確的評估脆弱度及風險，並為調適策略確認優先順序，或為某些調適選項提供初步規劃與設計時需要的數據。

(3) 當確定採取的調適選項及情境時，或規劃中的海岸韌性改善措施完成後，可以重新評估受海平面上升和風暴潮的影響程度，以比較前後的差別，並確認運輸系統的那些部分的脆弱度仍然很高。

(4) 應加強 ITS 基礎設施，通過向遊客提供最新訊息等需求管理策略，來增加道路使用容量。

(5) 制定交通應變計畫，以便在北澤西海岸線因洪水中斷時，得以通過公車運輸疏散，並保持進入離岸沙洲島的交通。

(6) 在天氣事件的資訊方面，過去歷史紀錄多有所缺乏，研究建議未來可以記錄以下資訊：

① 有關公車服務、公路、鐵路、水路等服務中斷的地理範圍和持續時間，並統一紀錄的標準格式。

② 道路封閉、交通服務中斷、吊橋故障和其他事件發生的主要和次要原因，例如鐵路服務是否因水淹沒變電站導致停電而中斷？

③ 維修或更換損壞的基礎設施所花費的成本。

④ 服務中斷所造成的影響的其他相關資訊，例如道路是幾條車道受影響封閉、改至替代道路後其服務水準是否受影響等。

3.2.2 荷蘭交通水利管理局（RWS）內陸公路調適案例

本小節引介美國聯邦公路管理局(FHWA)和荷蘭交通水利管理局(RWS)於 2017 及 2018 年合作完成之公路韌性研究報告《彈性和永續運輸—荷蘭風格：FHWA 與 Rijkwaterstaat 雙邊合作階段報告（Resilient and Sustainable Transport – Dutch Style: An interim report on bilateral cooperation between FHWA and Rijkwaterstaat)》[37]，以及《針對荷蘭 InnovA58 高速公路提出氣候變遷調適策略（Development of a Climate Adaptation Strategy for the InnovA58 highway in the Netherlands)》[38]。

該研究係以荷蘭 InnovA58 公路擴建計畫為標的，應用歐洲 ROADAPT 方法和 FHWA 氣候調適框架所提出之分析框架及配套工具進行氣候變遷風險評估，依據分析及評估結果研擬調適策略並規劃調適路徑，提出提升公路氣候韌性的創新作法，並據以納入後續建設採購的契約之中。

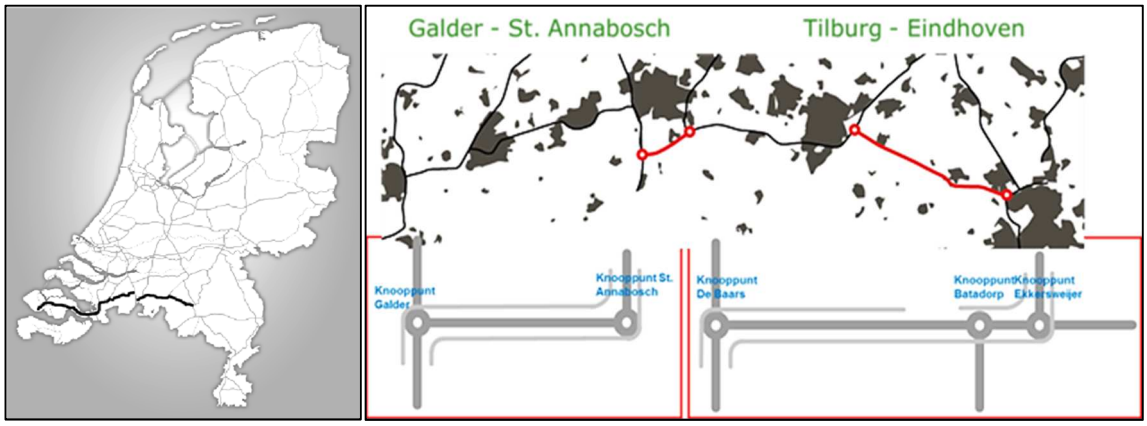
1. 研究背景

在公路規劃流程中應如何融入氣候韌性和調適的理念目前仍存在理論與實務的落差。歐洲和美國已開發了幾種調適框架及應用工具（如歐洲 ROADAPT 方法和 FHWA 氣候調適框架)，目的係評估公路氣候風險和導入提高韌性的調適選項，惟歐洲實際應用此類工具的例子並不多。事實上，荷蘭交通水利管理局（RWS）過去在實務操作上並沒有使用上述工具，且缺乏將理論和工具轉化實踐之在地化知識及經驗。為測試和改進上述兩種調適工具，乃以荷蘭 InnovA58 公路擴建計畫進行實證研究。

A58 高速公路位於埃因霍溫(Eindhoven)和布雷達市(Breda)之間(見圖 3.2-6)，長度超過 50 公里，自 1989 年布雷達以南路段開通以來，國際貨運量持續成長，導致交通壅塞及路口事故頻繁發生，因此，RWS 決定將壅塞最嚴重的 7 公里和 28 公里路段(即蒂爾堡和埃因霍溫之間以及布雷達以南)，雙向各新增一車道。

RWS 將該專案指定為創新「生活實驗室（Living Lab)」專案計畫，故命名為 InnovA58 公路擴建計畫，該計畫測試多個領域的創新導入，包括智慧交通、氣候變遷調適、社會設計（公眾參與）等，計畫目的之一為提高 A58 高速公路及其周圍環境在氣候變遷影響下的韌性，且透過實務經驗累積有助於國內高速公路更廣泛地應用調適框架及評估工具。而其中所面臨的挑戰是

如何使用氣候風險和脆弱性評估工具，如何選擇最具成本效益的調適選項，以及同時考慮到短期和長期調適策略。以下介紹 InnovA58 計畫在應用調適規劃理念過程的主要發現。



資料來源：Leijstra, M., Van Muiswinkel, K., Leendertse, W., & Bles, Development of a Climate Adaptation Strategy for the InnovA58 highway in the Netherlands. Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 2018, 2018.

圖 3.2-6 A58 高速公路及 InnovA58 計畫範圍

2. 氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析

RWS 長期致力於因應海平面上升與河川淹水等水利工程重大課題，在整體區域洪水治理成果下，對於荷蘭海岸及河川周邊地區之防洪排水掌控度極高，故即使在氣候變遷下亦不會影響既有公路機能。此外，RWS 與荷蘭水利研究機構 Deltares 長期合作，對於在地水文及相關淹水模型及數據資料庫皆已建置完善，並長期持續監測最新氣候相關資料並進行資料蒐集及分析，其分析結果發現 InnovA58 公路擴建計畫只需針對暴雨問題處理即可。

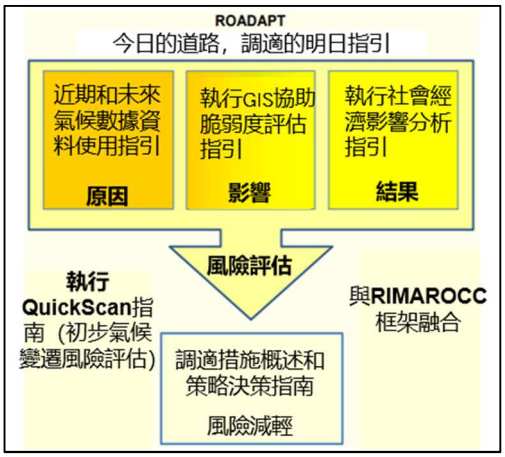
研究計畫使用荷蘭皇家氣象研究所（Royal Netherlands Meteorological Institute, KNMI）為荷蘭制定的四種氣候情境，其時間範疇涵蓋了 2050 和 2085 年。RWS 將重點關注於短延時強降雨事件，由於該類型事件不易被全球氣候模型模擬，根據 KNMI 研究發現，在 10 年和 50 年重現期的暴雨事件下，2050 年降雨量估計增加 22%，2085 年估計增加 40%，而 250 年重現期暴雨事件的降雨量未來增幅，將遠大於 10 年或 50 年重現期暴雨事件的降雨量未來增幅，顯示未來極端降雨事件將更加嚴峻。

3. 氣候變遷風險評估

該項專案所應用的調適框架，包含歐洲道路主管會議（Conference of European Directors of Roads,CEDR）提出的 ROADAPT 方法以及 FHWA 的氣候調適框架和配套應用工具。

ROADAPT 方法是基於風險評估方法來評估脆弱度和辨識調適策略，ROADAPT 方法涉及選擇當前和未來氣候數據、利益相關人所驅動的氣候變遷風險初步評估，稱之為快速掃描（Quickscan）、基於 GIS 的脆弱性評估、社會經濟影響評估以及研擬調適策略或措施等（見圖 3.2-7）。

FHWA 氣候調適框架主要係評估公路系統在氣候變遷及極端天氣事件之下的脆弱度，並將結果納入決策。該框架說明執行脆弱度評估的關鍵步驟，並提供如何透過不同程度的投入和資源執行該過程之說明。另外，該框架可協助交通規劃者執行敏感度分析（Sensitivity Analysis）、處理降尺度的（Downscaled）氣候數據，以及對脆弱度評估（Vulnerability Assessment）進行評分。



資料來源：Leijstra, M., Van Muiswinkel, K., Leendertse, W., & Bles, Development of a Climate Adaptation Strategy for the InnovA58 highway in the Netherlands. Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 2018, 2018.

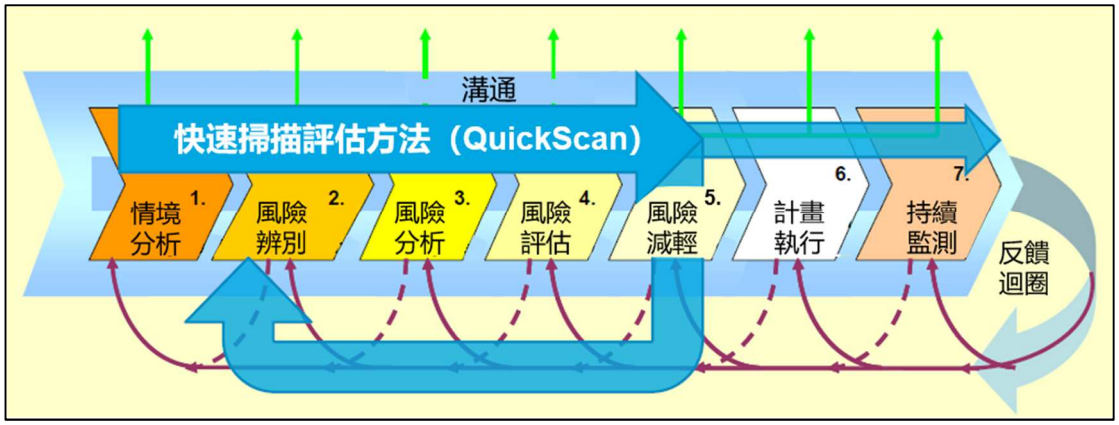
圖 3.2-7 ROADAPT 方法架構

(1) 歐洲 ROADAPT 方法及 FHWA 氣候調適框架之綜合應用

① 快速掃描：指認氣候風險

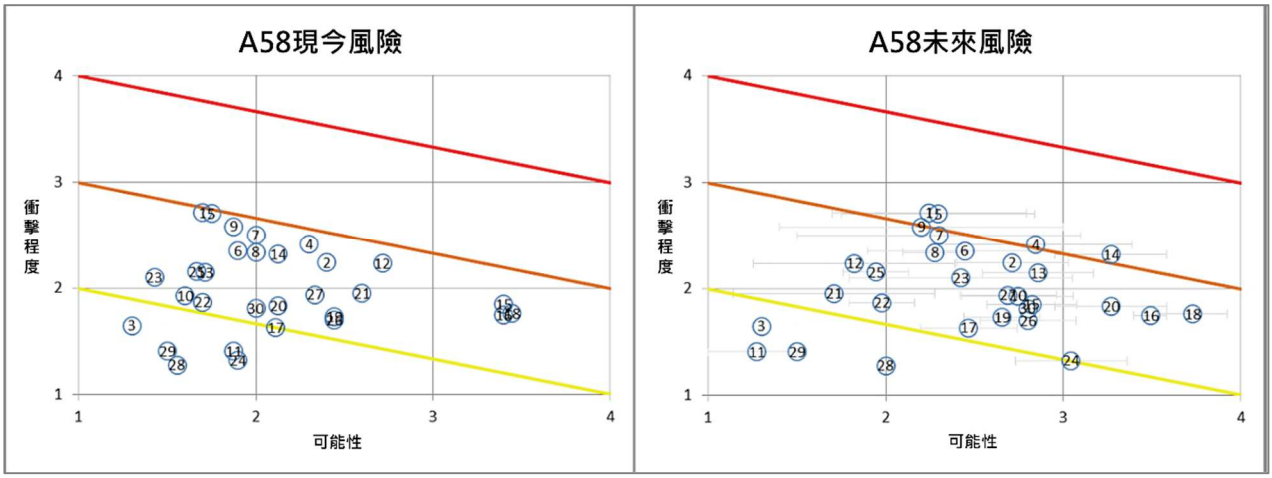
Deltares 辦理三個工作坊，分別邀請 Innova58 計畫團隊、運營和維護人員以及當地政府，並使用 ROADAPT 快速掃描評估方法（圖

3.2-8），開發當前風險矩陣，並透過調整不同氣候影響情境發生可能性的高低，將其轉化為未來風險。圖 3.2-9 氣候風險矩陣呈現未來可能風險，傾斜線呈現風險的大小：矩陣右上角越多，風險越高，顯示與過去相比未來氣候風險會加劇。



資料來源：ROADAPT Roads for today, adapted for tomorrow Guidelines, Centre for Effective Dispute Resolution, 2015.

圖 3.2-8 ROADAPT 快速掃描評估方法



資料來源：Leijstra, M., Van Muiswinkel, K., Leendertse, W., & Bles, Development of a Climate Adaptation Strategy for the InnovA58 highway in the Netherlands. Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 2018, 2018.

圖 3.2-9 InnovA58 氣候風險矩陣

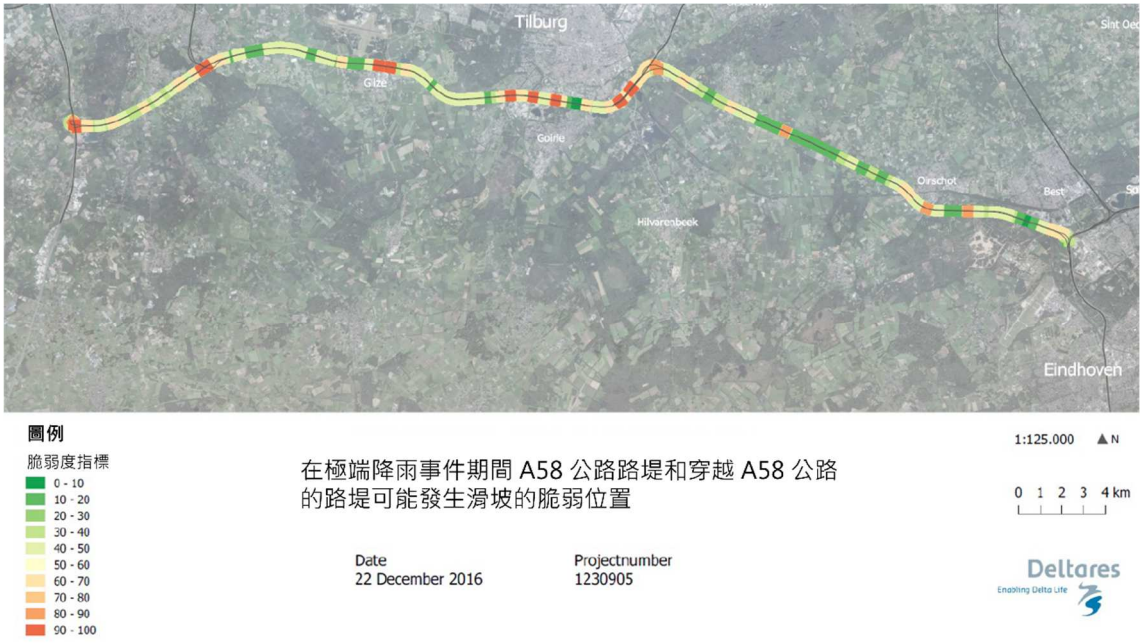
工作坊中指認出 InnovA58 公路最嚴重的氣候風險依次為：

- 溪口的道路洪水氾濫
- 洪水氾濫（Pluvial flooding）：強降雨導致道路氾濫，地表逕流及地下水位升高、形成水坑等

- 涵洞尺寸過小造成道路侵蝕
- 路邊長期積水導致路基侵蝕/承載能力喪失
- 極端降雨期間路基的滑坡/道路沉降（subsidence）
- 由於下雪、陣雨、水霧（spray）期間能見度受限，使駕駛安全性下降
- 道路積水超過 3 公分易打滑，造成駕駛員安全疑慮
- 人行地下道淹水

② 脆弱度評估：運用 GIS 地理資訊系統繪製路網並評估脆弱度

工作坊運用快速掃描（Quickscan）完成風險矩陣後，Deltares 使用 ROADAPT 的脆弱度評估（Vulnerability Assessment, VA）和 FHWA 的 VAST 開發路段的脆弱度評分。Deltares 結合 Alterra 研究所、Blue Spot（RWS 早期洪水風險分析）的數據庫、現場訪談評估、道路排水系統紀錄、道路與周邊地區的地形高程差異，以及是否存在涵洞和溝渠等因素，找出易遭受淹水災害的地點。透過 ROADAPT 工具的 GIS 圖可以辨別易受洪水影響的地點（如圖 3.2-10）。依據脆弱度程度分配顏色，綠色表示脆弱度相對較低，橙色表示脆弱度相對較高。



資料來源：Leijstra, M., Van Muiswinkel, K., Leendertse, W., & Bles, Development of a Climate Adaptation Strategy for the InnovA58 highway in the Netherlands. Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 2018, 2018.

圖 3.2-10 InnovA58 可能因暴雨遭受洪水災害的脆弱地點

③ 社會經濟影響評估

社會經濟影響評估係使用多準則評估方法（相關性/有效性、靈活性、穩健性、維護和生命週期成本以及次要收益），該分析方法是透過評估氣候相關事件導致的壅塞（與旅行時間損失有關）的經濟影響以及事件發生的可能性進行分析。

4. 因應氣候變遷調適選項

(1) 調適措施

根據快速掃描、脆弱度評估及社會經濟影響評估三步驟的結果，針對 InnovA58 公路的五個關鍵氣候風險擬定了調適措施。為了檢查何時需要採取某些措施，表 3.2-6 提供措施之示例列表，以利後續將可能採取之調適措施繪製為調適路徑。

表 3.2-6 應對主要氣候風險之可能的調適措施列表

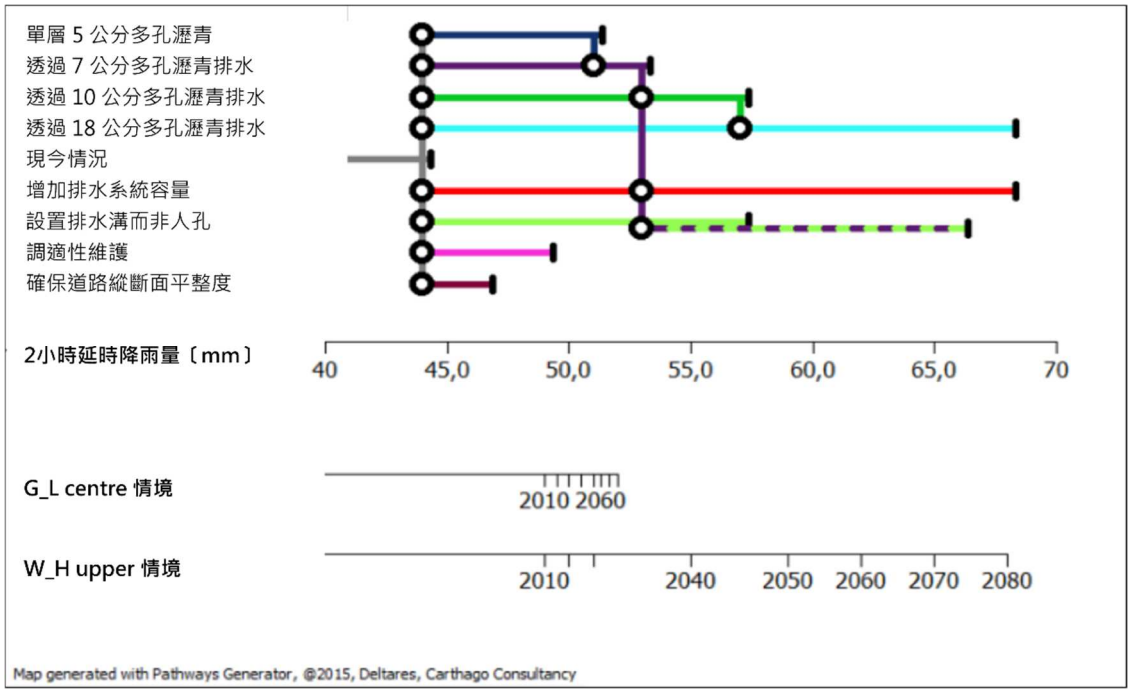
主要氣候風險	可能的調適措施（示例）
洪水導致基礎設施被淹沒	• 擴大現有橋梁的容量（加寬/加高） • 改善道路雨水排水的儲水功能（較緩慢地排入溪流） • 將道路墊高 • 調整道路設計，使可能被淹水道路改道 • 實現上游蓄水（「保留溝渠/溪流的空間」）
極端降雨導致基礎設施被淹沒	• 提高雨水排水系統的能力 • 使用排水溝而不是溝渠 • 確保道路縱向剖面的平整度 • 在道路下方或旁邊建造蓄洪池 • 使用「雨洪氾濫涵洞(pluvial flooding culverts)」
路堤侵蝕	• 保護路堤避免侵蝕
道路積水噴濺和水霧而降低行車安全	• 降低外側（緊急）車道高程以減少主要車道積水可能性 • 更好地管理和維護道路邊緣和雨水排水 • 提供道路上的調適照明/通知
極端降雨導致溪流和城市溢淹	• 儲存雨水並應用於乾旱期間 • 確保暴雨不會直接排入都市既有排水系統

資料來源：Federal Highway Administration, Resilient and Sustainable Transport - Dutch Style: An interim report on bilateral cooperation between FHWA and Rijkwaterstaat, 2017.

(2) 調適（政策）路徑

調適(政策)路徑被用於描繪未來隨時間推移的多種可能的調適措施。從上述步驟產出 InnovA58 的調適措施清單，調適路徑呈現一個或多個調適措施的組合，以對應於不同氣候情景的不同時間尺度。如圖 3.2-11 根據氣候參數(例如降水強度)繪製有效的調適措施(一個或多個調適措施)，並透過隨時間推移看到不同的「路徑」(極可能採取之調適措施組合及順序)，以便為未來的氣候變化做好準備。

運用調適「路徑」時的核心概念是「臨界點」，當達到某種措施的「臨界點」時，需要採取額外的行動來達成當初設定的目標，因此調適措施的多種組合提供了在未來可能的情境下達到所需目標的替代途徑。



資料來源：Federal Highway Administration, Resilient and Sustainable Transport - Dutch Style: An interim report on bilateral cooperation between FHWA and Rijkwaterstaat, 2017.

圖 3.2-11 InnovA58 調適（政策）路徑

5. 其他作法：建設採購契約文件具體納入氣候韌性考量

RWS 於 2017 年 4 月發布針對 InnovA58 計畫的詢價文件（Request For Quotations, RFQ）。內容提及承包商須提出與公路氣候韌性相關的考量，包括為 InnovA58 計畫制定穩健而靈活的氣候調適措施，並就如何將其整合提出建議。其中，要使用荷蘭皇家氣象研究所（Royal Dutch Meteorological Institute, KNMI）開發的氣候情景、RWS 氣候指引和調適路徑方法等，並對調適措施進行成本效益分析、分析措施對其他議題的潛在影響，例如噪音和生態影響，並將道路和周邊地區的氣候韌性結合納入考量。

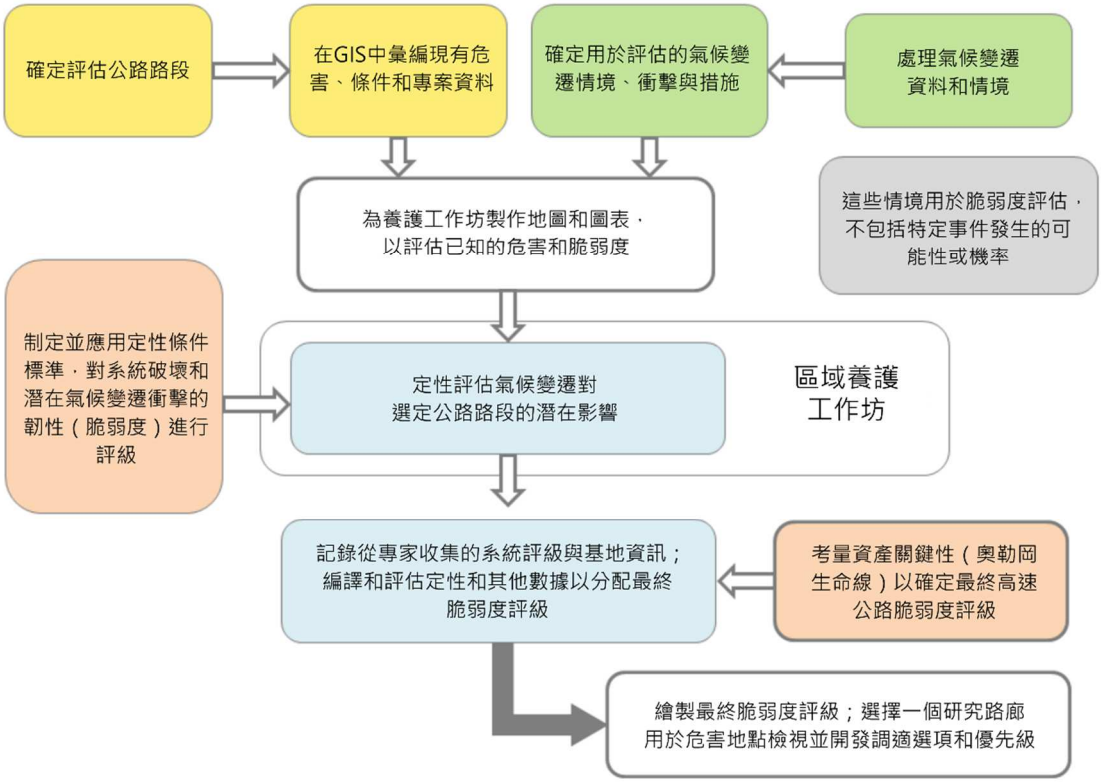
6. 研究結論與建議

該研究結果有助於優化 FHWA 和 RWS 雙方所採用的調適工具，並為未來的高速公路專案實施氣候變遷調適策略及措施提供寶貴經驗。此外，跨國合作下已產生了寶貴的見解和一系列調適創新實踐。華盛頓州運輸部和 FHWA 正在與其機構內的專家開會，討論 InnovA58 創新做法及其在美國的適用性。

3.2.3 美國奧勒岡州運輸部（ODOT）山區公路調適案例

本小節引介美國奧勒岡州運輸部（ODOT）於 2014 年完成的一項示範計畫《氣候變遷脆弱性評估與適應方案研究（Climate Change Vulnerability Assessment and Adaptation Options Study）》[39]，研究遵循 FHWA 氣候調適框架的方法與架構，提出 ODOT 評估方法如圖 3.2-12 所示，並評估未來氣候變遷情境下的山體滑坡、海岸侵蝕和風暴潮對於區域內高速公路的影響，透過工作坊召集專家、養護人員和技術人員進行脆弱度評估，最後選定脆弱路廊中易受衝擊的特定地點提出調適選項，並進行成本效益評估。

為執行該示範計畫，ODOT 與奧勒岡氣候變遷研究所（OCCRI）、奧勒岡州地質、礦產和工業部（DOGAMI）、奧勒岡州土地保護發展部（DLCD）建立合作夥伴關係，並由調適工作小組指導，調適工作小組成立於 2012 年初，小組成員由地質、資產管理、交通規劃、道路工程、橋梁工程、維護與營運、地理資訊系統等專業背景專家組成。



資料來源：Oregon Department of Transportation, Climate Change Vulnerability Assessment and Adaptation Options Study, 2014.

圖 3.2-12 ODOT 脆弱度評估方法

1. 研究背景

研究鎖定奧勒岡州北海岸的克拉索普郡和蒂拉穆克郡 12 條合計近 300 英哩的州高速公路廊道進行脆弱度評估，該區域海岸山脈陡峭，沿海公路沿線有綿延數英哩的不穩定懸崖，依靠著數百座橋梁和涵洞穿越易受海平面上升和海岸侵蝕影響的河流和河口，降雨總量也位居全州最高，氣候變遷下更大、更頻繁的降水和風暴事件將大大增加這些公路發生山崩、洪水和侵蝕的風險（如圖 3.2-13）。



U.S. 101 公路發生土石流



U.S. 101 公路崩塌

資料來源：Oregon Department of Transportation, Climate Change Vulnerability Assessment and Adaptation Options Study, 2014.

圖 3.2-13 奧勒岡州北海岸公路段受到氣候災害衝擊

2. 氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析

研究團隊所使用的氣候相關資料，來源包含降尺度的全球氣候模型（GCM）、區域氣候研究數據、養護紀錄中的風暴事件閾值、海平面上升預測、海岸侵蝕率及其他可用資料等。

為評估洪水、高水位、山崩、落石和海岸侵蝕等相關災害對北海岸高速公路的影響，研究主要針對降雨量、海平面上升與暴潮等氣候壓力進行分析，並採用中等（RCP4.5）與最劣（RCP8.5）情境，蒐集近期（2006-2035 年）與長期（2036-2065 年）的降雨量變化以及世紀中與世紀末的海平面上升預測數據，以下分別說明：

(1) 降雨

研究團隊就氣候變遷相關資料的數據、方法、使用與解釋等各方面與奧勒岡氣候變遷研究所（OCCRI）進行討論，並進行過往相關文獻回顧，提出以下主要發現：

① 奧勒岡州西部的秋季與冬季將更加潮濕、春季與夏季將更加乾旱。

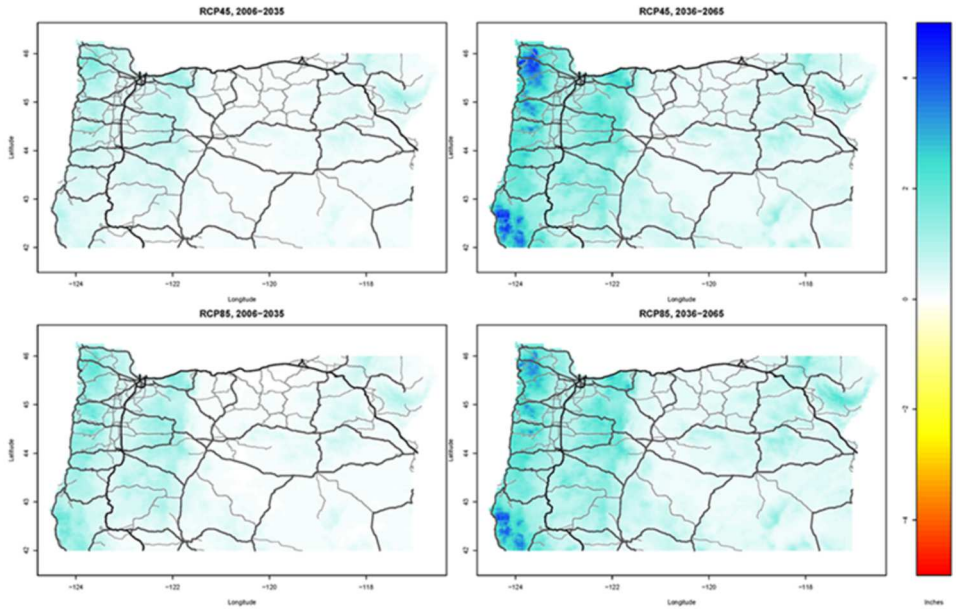
② 更強烈的風暴事件可能會導致洪水頻率和規模更大（洪峰流量），河流沖刷和土石流更加頻繁。

③ 由於更高的洪峰流量與森林火災風險增加，地勢陡峭地區侵蝕週期增加，相應的在平坦地區的沉積物沉積也會增加。

④ 極端降雨事件（>2 英吋/24 小時）於世紀中數量將增加近 3 倍。

圖 3.2-14 為冬季平均總雨量相對於歷史值的變化分析圖示例，顯示研究範圍降雨量變化量為奧勒岡州最高的地區；表 3.2-7 為範圍內 Gallagher Slough 的總雨量、極端降雨強度及頻率預測，結果顯示平均總雨量及極端降雨強度將適度增加，而極端降雨頻率將顯著增加。

總之，氣候研究表明降雨事件的發生頻率和強度可能會隨著時間的推移而變化，降雨可能會更加集中，顯示未來交通運輸受損和與天氣相關的道路風險將不斷增加。



資料來源：Oregon Department of Transportation, Climate Change Vulnerability Assessment and Adaptation Options Study, 2014.

圖 3.2-14 冬季平均總降雨量變化量示例圖

表 3.2-7 降雨量分析示例表（Gallagher Slough / RCP8.5）

	基線(1950-1999)	中世紀(2046-2065)	世紀末(2081-2099)
	觀測值	推估值	推估值
年平均總降雨量	95.0 英吋	119.4 英吋	117.7 英吋
95%事件 24 小時降雨量	1.2 英吋	1.6 英吋	1.6 英吋
99%事件 24 小時降雨量	2.1 英吋	2.9 英吋	3.0 英吋
發生基線 95%事件次數	13 次	27 次	28 次
發生基線 99%事件次數	3 次	10 次	11 次

資料來源：Oregon Department of Transportation, Climate Change Vulnerability Assessment and Adaptation Options Study, 2014.

(2) 海平面上升與暴潮

研究使用國家研究委員會（NRC）所做的西海岸海平面上升預測研究（表 3.2-8），該研究基於 RCP4.5 中等排放情境，並使用克拉索普郡和蒂拉穆克郡 40 潮汐紀錄所推導出的極值分析作為暴潮依據。

研究團隊使用 2050 年海平面上升高推估成果（上升 48 公分/18.89 英吋）進行海平面上升淹沒分析，結果顯示超過 15 英哩的州高速公路會受到未來海平面上升的影響。

表 3.2-8 奧勒岡州海平面上升預測

	2050 年中推估	2050 年高推估	2100 年中推估	2100 年高推估
海平面上升高度預測	17 公分(6.69 英吋)	48 公分(18.89 英吋)	63 公分(24.8 英吋)	143 公分(56.29 英吋)

資料來源：National Research Council, West Coast Report, 2012.

3. 氣候變遷風險評估

研究團隊在風險評估階段進行了資產盤點並定義關鍵資產，並掌握現有災害與養護相關紀錄，最後透過工作坊與相關人員一同進行研究範圍高速公路的脆弱度評估，以下說明各項工作內容：

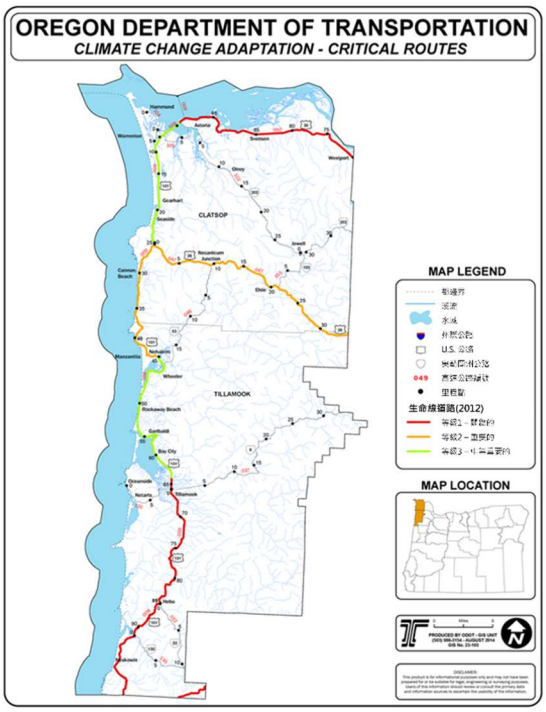
(1) 定義關鍵資產

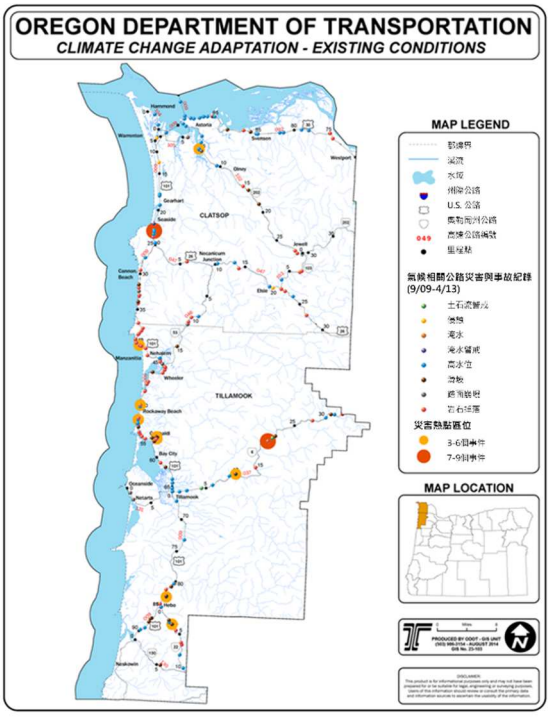
研究團隊參考《奧勒岡州高速公路地震方案報告》中所指定的「生命線」高速公路，生命線發生損害時可能影響整個路網的運輸，從而導致重大的社會經濟損失，在該計畫中接受評估的 22 條高速公路路段，有 10 條被列為生命線公路，並針對生命線公路建立分級清單，以指導公路和橋梁改造的優先順序（見圖 3.2-15）。

(2) 現有災害狀況、養護紀錄

研究團隊從奧勒岡州地質、礦產和工業部（DOGAMI）、養護部門、不穩定邊坡計畫等夥伴與相關計畫中蒐集了與已知災害相關的位置與相關資訊，並識別危險區域。

此外，研究團隊還蒐集了運輸營運中心（TOCS）調度中心在 2009 年 9 月至 2013 年 4 月的調度與天氣警報資料，與氣候相關的事件資料包含高水位、洪水、土石流、侵蝕、路面崩塌、落石等，共計 442 起事件紀錄。結果顯示 101 號高速公路處於這些氣候災害的中心，其中高水位、土石流和落石是常見的災害類型（如圖 3.2-16）。

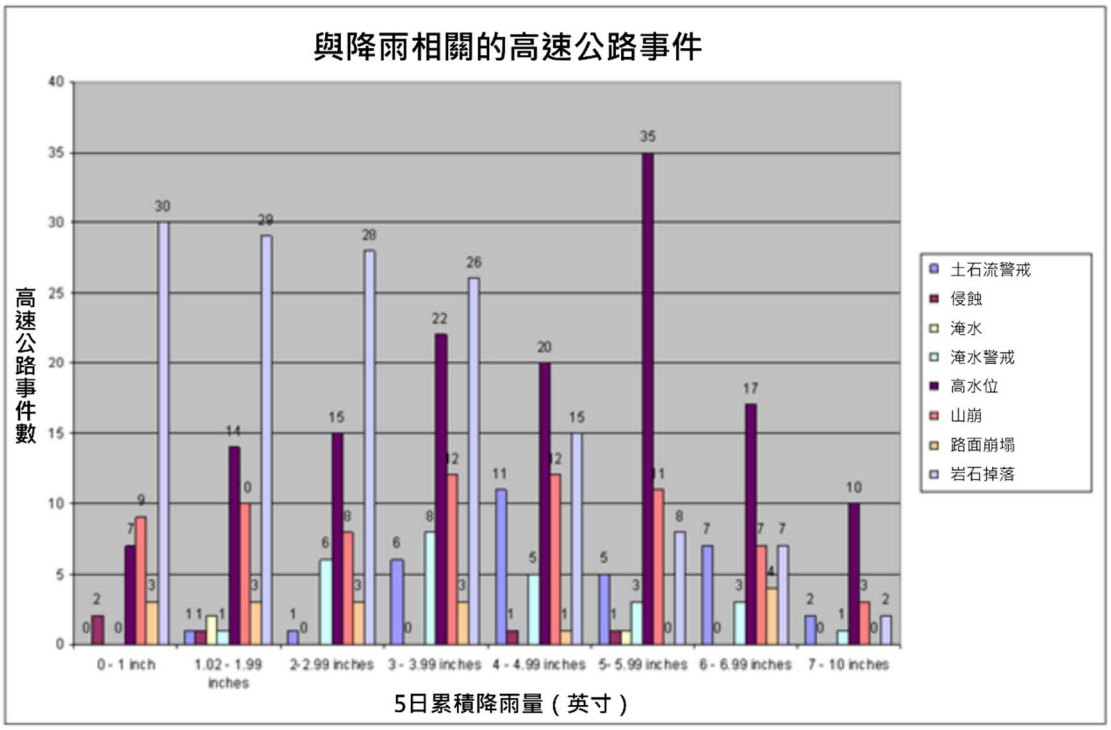




資料來源：Oregon Department of Transportation, Climate Change Vulnerability Assessment and Adaptation Options Study, 2014.

圖 3.2-15 生命線公路分級圖　　圖 3.2-16 氣候相關事件紀錄災點

研究團隊將災害事件與特定風暴事件進行比較（如圖 3.2-17），結果顯示大多數災害事件（高水位和山崩）是在 5 日累積降雨量達到 3 至 6 英吋之間的冬季暴風雨期間記錄到的，顯示在多日降雨達到一定量的情況下，土壤含水達到飽和，容易引發相關災害事件。



資料來源：Oregon Department of Transportation, Climate Change Vulnerability Assessment and Adaptation Options Study, 2014.

圖 3.2-17 降雨量與高速公路氣候事件比較

(3) 召開工作坊進行脆弱度評估

研究團隊邀集養護人員與技術人員召開了區域養護工作坊，研究團隊向工作坊參與人員介紹團隊所掌握的歷史與未來氣候相關資訊後，以下表 3.2-9 的評估標準，針對高速公路在未來潛在氣候條件下的潛在破壞程度進行定性脆弱度評估，評估結果顯示於圖 3.2-18。

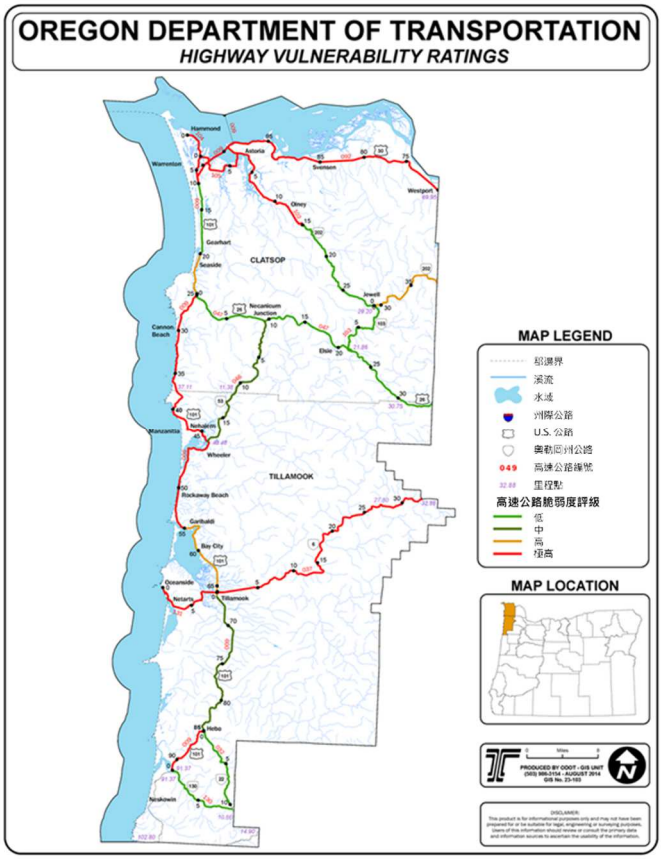
根據評估結果顯示，易受氣候變遷影響的地區往往是：

- 海岸山脈（容易發生落石和山崩）
- 大範圍挖方或填方之道路邊坡
- 易受洪水侵襲的低窪地區（靠近河流、河口）
- 易受海平面上升和暴潮侵襲的沿海區域

表 3.2-9 高速公路脆弱度評估標準

評估標準	內容說明
低度脆弱（Low）	公路稍微限制使用，對公路的影響很小或可以忽略，需要進行修復但仍具有有限的功能，限制使用通常涉及： • 交通不方便 • 偶爾/短暫關閉車道，但道路保持通行
中度脆弱（Medium）	公路輕微損毀，在關閉修復後可以恢復使用，公路輕微損毀通常涉及： • 臨時封路，持續數小時至數天 • 長時間關閉車道（超過 10 天）
高度脆弱（High）	公路重大損毀，在關閉修復後可以恢復使用，公路重大損毀通常涉及： • 臨時封路，持續數週 • 減少前往公路所服務的目的地的次數
極度脆弱（Extreme）	公路完全損毀，需要徹底重建，並且可能需要重新規劃，公路完全損毀通常涉及： • 立即封路，持續數月至數年 • 交通中斷須改道至其他道路

資料來源：Oregon Department of Transportation, Climate Change Vulnerability Assessment and Adaptation Options Study, 2014.



資料來源：Oregon Department of Transportation, Climate Change Vulnerability Assessment and Adaptation Options Study, 2014.

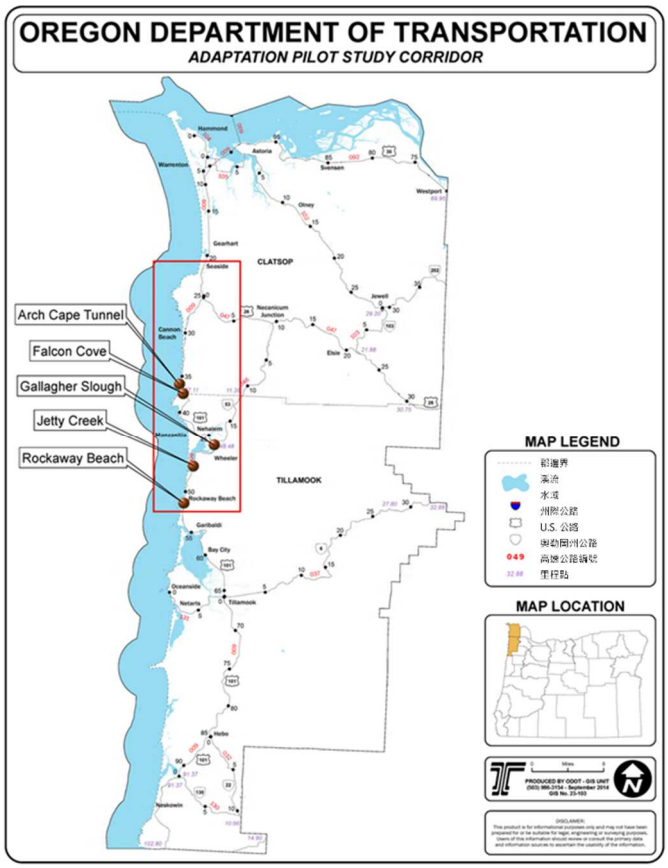
圖 3.2-18 高速公路脆弱度圖

4. 因應氣候變遷調適選項

根據脆弱度評估結果，研究團隊選擇其中脆弱程度高且為生命線公路的 101 號高速公路當中的 25 至 50 英哩路段作為研究路廊，並就研究路廊進行示範地點的選定，以擬定調適選項。

(1) 示範地點選定

示範地點的選擇原則應面臨多樣性的氣候災害且具有高脆弱度，在現有的資源條件下具有操作可行性，且無既有執行中的相關工程或計畫，並且最終評估結果應該要能夠被複製到奧勒岡州海岸的其他類似地點。研究最終選定了 5 個示範地點進行進一步評估（如圖 3.2-19），以提出調適選項並進行成本效益分析，以下舉其中的 Falcon Cove 進行說明。



資料來源：Oregon Department of Transportation, Climate Change Vulnerability Assessment and Adaptation Options Study, 2014.

圖 3.2-19 研究路廊示範地點

(2) 示範地點調適選項

Falcon Cove 示範地點位於 101 號高速公路 37.1 英哩處的填方邊坡上，所面臨的氣候災害主要為山崩（填坡破壞），該處斜坡坡度比 2H:1V 稍陡，並有一根直徑 24 英吋的金屬管引導一條小溪東西向穿過填方，該填方每年雨季期間（10 至 5 月）都會經歷嚴重的滑坡運動導致道路邊形，此地點的條件與所面臨的情況與海岸山脈的許多其他地點類似。

根據 ODOT 不穩定邊坡資料庫的數據，該地點需要以每年 1.5 次的頻率進行維護，並記錄到每年會有 3 次雨量超過 2.7 英吋/24 小時的特大降雨事件發生，在世紀中特大降雨事件發生頻率的推估下，研究團隊與養護人員估計需要將維護頻率提升到每年 2.5 次。

下表 3.2-10 整理研究團隊就示範地點所面臨的情況，所提出的調適選項、調適效果以及各調適選項的建設與維護成本。

表 3.2-10 Falcon Cove 調適選項成本效益分析表

調適選項	調適效果	建設成本	年度維護成本	30 年年度維護成本
維持原樣	無變動；每年 1.5 次的維護頻率，維護期間道路會受到單向 4 小時的通行限制	0	8,957	10,509
輕質填充	透過替換填土為輕質材料減少滑動驅動力；在目前的工作量和關閉時間水準下，維護頻率降低至 5 年一次；30 年內必須重建 2 次	153,158	1,194	1,994
降低坡度	透過移除填方上部等方式改變坡度以減少滑動驅動力；維護頻率降低至 3 年一次，同時減少工作量和關閉時間，維護期間允許雙向通行	232,000	1,131	1,889
構造支撐牆和剪力榫	支撐牆和剪力榫可以增加抗滑力，下坡部分材料取代為石路堤增加排水；維護頻率降低至 15 年一次	180,350	376	628
使用全天候材料重建並調整涵洞大小	以強度足以抵抗變形且具滲透性的材料替換現有填方(如石路堤)；增加涵洞尺寸以應對更大的逕流	562,097	0	0

備註：表格中成本單位為美元。

資料來源：Oregon Department of Transportation, Climate Change Vulnerability Assessment and Adaptation Options Study, 2014.

5. 研究結論與建議

(1) 詳實紀錄每次風暴事件對公路系統影響的相關數據，並建立統一的紀錄標準。

(2) 紀錄氣候相關災害的道路修復成本，為成本與效益分析提供資訊。

(3) 在高風險地點實施資料監測和研究計畫，以獲取即時、準確的數據，並將氣候事件與場地條件、變化和風險程度連結。

(4) 實施基於風險的邊坡監測計畫，補足掌握降雨、地下水和滑坡運動之間關係的知識落差所需的資料。

(5) 應用現有光達資料與技術，以更全面的掌握山體滑坡對於公路的潛在未來影響。

(6) 未來應積極規劃替代路線，可以有效提高整體路網韌性。

(7) 機構間的協調有助於提出更具影響力的調適選項，避免在阻力大的情況下，選擇採取短期、成效較低的方案。

3.2.4 臺灣桃園國際機場第三跑道及基礎設施綜合規劃

本小節引介臺灣桃園國際機場公司（以下簡稱機場公司）依據「氣候相關財務架構揭露建議（Task Force on Climaterelated Financial Disclosures Recommendation, TCFD）」及 ISO 31000 風險管理的國際標準做為指導，於 2021 發表「桃園國際機場股份有限公司永續報告書」[40]，該報告鑑別出機場公司的氣候變遷風險之影響及因應措施，並針對短期中高風險如淹水及降雨模式改變，擬於 2022 年「臺灣桃園國際機場第三跑道及基礎設施綜合規劃暨基本設計（以下簡稱第三跑道建設計畫）」[41]採取具體因應措施。以下依據實例說明於機場公司如何於規劃階段納入氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析、氣候變遷風險評估（依據 TCFD 辨識氣候變遷風險結果）及研擬調適選項之三階段程序。

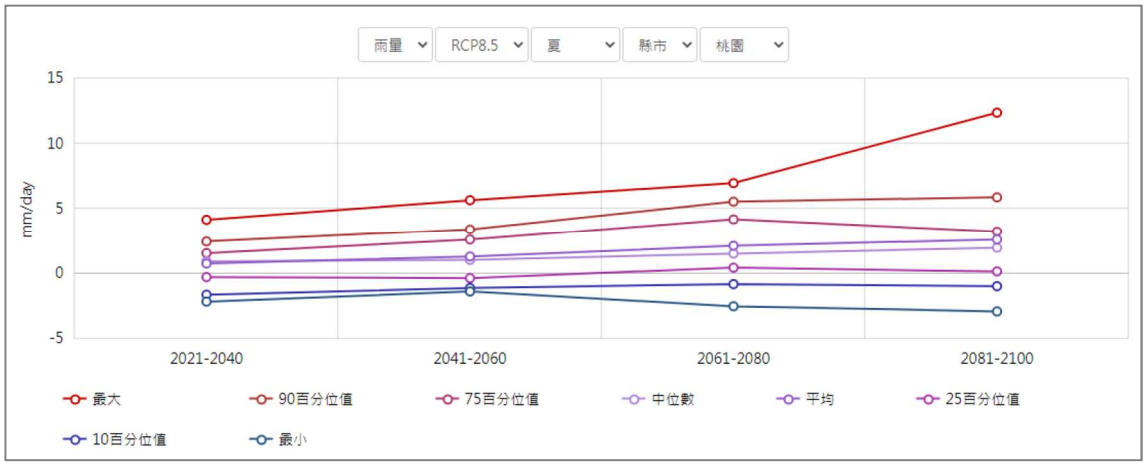
1. 計畫背景

機場公司為有效因應氣候變遷之衝擊，擬定氣候變遷減緩與調適策略，積極進行氣候變遷風險管理，於 2020 年導入 TCFD 完成氣候風險與機會的鑑別分析，於同年 11 月通過國際第三方查驗機構 TCFD 查核，成為全球首家通過 TCFD 氣候相關財務揭露查核的航空產業。

該氣候風險與機會的鑑別以 IPCC AR5 所發布的 RCP4.5 為主要情境分析，並按我國所發布之氣候變遷相關科學研究，做為氣候相關風險評估之依據。機場公司將氣候相關風險依其衝擊危害分為低、中、高度等 3 級風險，其中，高度風險為淹水、強風及降雨模式改變，中度風險則為年度最高溫上升，因此為確保機場跑道之營運韌性，針對淹水及降雨模式改變造成之影響，擬於第三跑道建設計畫採取因應措施。

2. 氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析

在氣候變遷下如何提升機場排水韌性，第三跑道建設計畫區位緊鄰南崁溪及埔心溪，依據科技部（今國科會）TCCIP 網站之資訊，以桃園地區在 RCP8.5 之降雨量推估來做為未來推估趨勢說明（圖 3.2-20），結果顯示極端降雨之強度與頻率增加，河川流量亦有增加的趨勢，進而增加河川溢堤淹水之風險，故如何降低氣候風險為該計畫之重要課題。



資料來源：臺灣桃園國際機場第三跑道及基礎設施綜合規劃暨基本設計委託技術服務，臺灣世曦工程顧問股份有限公司、中興工程顧問股份有限公司，111 年。

圖 3.2-20 桃園地區降雨量未來推估趨勢

3. 氣候變遷風險評估（內容摘錄自機場公司 2021 永續報告書）

第三跑道建設計畫係機場公司於 2020 年透過 TCFD 機制盤點出風險缺口提出之調適因應作為，故該計畫內無執行風險評估。

為補充說明，以下摘錄 2021 永續報告書提及之辨識氣候變遷風險過程：機場公司為面對全球航空業之氣候目標及因應氣候極端事件於 2020 年導入 TCFD 之機制，積極進行氣候變遷風險管理，並依據 TCFD 所提框架辨識氣候變遷風險。機場公司將風險區分為實體風險及轉型風險，其中，實體風險涵蓋政策和法規、技術、市場與商譽等三種，轉型風險則分為立即性與長期性等兩種。機場公司氣候變遷風險如表 3.2-11。

為辨識機場所面臨之氣候變遷風險，機場公司蒐集全球產業風險管理報告，彙整報告內容建立風險與機會議題清單，並將此風險議題清單與公司內部人士討論後進行相關性連結，經處理後共計 9 項氣候相關風險。最後，將 9 項氣候相關風險依據發生可能性與營運衝擊程度進行交叉分析，總結重大財務衝擊，並以矩陣圖內之圓圈大小呈現，聚焦出 3 項高度風險、1 項中度風險及 5 項低度風險。機場公司氣候變遷風險之衝擊如圖 3.2-21。

針對中高度風險，機場公司氣候初步提出因應措施如表 3.2-12。

表 3.2-11 機場公司氣候變遷風險議題及分類表

填次	類型	氣候相關風險	風險議題	風險等級	重大財務衝擊
1	實體風險	立即性	強風	高度	✓
2			淹水	高度	✓
3		長期性	降雨模式改變	高度	✓
4			年度最高溫上升	中度	✓
5	轉型風險	技術	減碳與能源技術的變動	低度	
6			消費行為調整	低度	
7		政策和法律	溫室氣體排放標準提升	低度	
8		商譽	商譽風險	低度	
9		長期性	年度最低溫下降	低度	

資料來源：桃園國際機場股份有限公司 2021 永續報告書，桃園國際機場股份有限公司，110 年。



資料來源：桃園國際機場股份有限公司 2021 永續報告書，桃園國際機場股份有限公司，110 年。

圖 3.2-21 機場公司氣候變遷風險之衝擊

表 3.2-12 機場公司氣候變遷風險之影響與因應措施彙整表

風險項目	影響說明	財務影響	因應措施
強風	造成桃園機場營運中斷、影響本公司設備（如空橋）、地面運輸中斷，進而減少營收。	桃園機場為確保旅客安全登機，本公司每年進行空橋維護，並視情形進行汰換。 近 5 年汰換空橋的資本支出共計 4.46 億元。	為減少因強風造成的營運中斷事件，機場公司具有相關因應措施： • 每年在颱風季節前執行防颱籌備作業與協調會議。 • 遇大規模異常航班須疏運之狀況，將啟動會議進行疏運細節討論。 • 觀察機坪風速，若風速達標時進行綁橋、停橋作業，並視需要 • 安排調整停機位及申請發布飛航公告。
淹水 降雨模式改變	淹水與降雨模式改變將造成位於地下的基礎設施淹水、地面運輸系統淹水、公共基礎設施中斷，進而使營運中斷。	本公司於第三跑道建設計畫時，為確保跑道不致有短暫積 / 蓄水情況發生， 花費 49.31 億元進行排水工程與整治工作。	針對桃園機場之防洪及排水，第三跑道建設工程中考量「跑道控制高程規劃」、「排水工程」、「極端氣候因應」，並依照鄰近溪流 200 年重現期推估洪水位進行規劃，使跑道不致有短暫積/蓄水的情況。
年度最高溫上升	ICAO 歸納出機場跑道長度的設計中，其中一項重要考量面為高溫。 因高溫下部分航機可能無法達到最大起飛重量，同時也會加速跑道損壞。	本公司於第三跑道建設計畫中，確定採用較充裕之跑道長度，以策飛行安全；但進一步考量氣候變遷的因素後，又再延長跑道長度，總花費為 358.05 億元。	建置第三跑道時，機場公司於「跑道長度」與「跑道鋪面」設計中，保留面對氣候變遷風險之餘裕，例如跑道鋪面採用剛性鋪面進行第三跑道規劃與施工基礎，以面對氣候耐受性、服務年限、維護容易性、施工技術純熟度與生命週期成本等議題

資料來源：桃園國際機場股份有限公司 2021 永續報告書，桃園國際機場股份有限公司，110 年。

依據其結果指認出與氣候相關高風險（立即性實體風險），包含淹水及強風，故針對桃園機場之防洪及排水，第三跑道建設計畫應納入考量包含「跑道控制高程規劃」、「排水工程」、「極端氣候因應」，並依照鄰近溪流 200 年重現期推估洪水位進行規劃，使跑道不致有短暫積/蓄水的情況。

4. 因應氣候變遷調適選項

機場公司依據 TCFD 鑑別未來極有可能面臨淹水風險，第三跑道建設計畫為因應氣候變遷挑戰，目標為打造防洪排水兼具之機場。

第三跑道建設計畫將機場防洪排水規劃區域分為核心區及緩衝區：核心區高程抬升，跑道、滑行道、航廈等重要建物規劃策略，包含跑滑道考量外水位高程進行整地、航廈等建物出入口設置高程抬升；緩衝區加強排水保護，北側邊界周圍、臨南崁溪、埔心溪區域規劃策略包含埔心溪整治提升、 透過整地工程快速排除表面逕流。

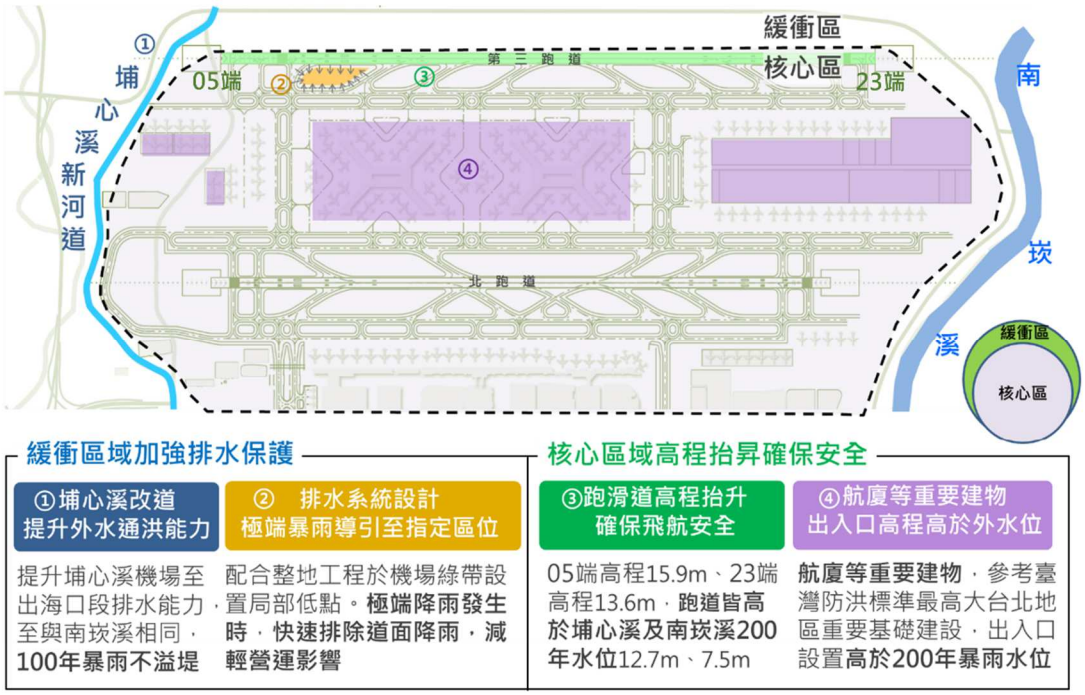
圖 3.2-22 為機場第三跑道防洪排水規劃策略圖，相關調適策略說明如下：

(1) 埔心溪機場段改道、提升外水通洪能力：原埔心溪機場段局部改道，並改善提升機場段至出海口之通洪能力，至與南崁溪河川相同 100 年暴雨不溢堤。

(2) 排水系統設計、導引暴雨快速排除：機場綠帶配合整地工程設置排水坡度及局部低點、導引地表逕流快速排除，減輕暴雨對營運影響。

(3) 跑滑道高程考量外水高程進行整地：考量外水高程，跑道高程抬升至埔心溪及南崁溪 200 年水位 12.7 公尺、7.5 公尺以上，確保飛航安全。

(4) 航廈等重要建物出入口高程設置高於 200 年暴雨外水位：參考臺灣防洪標準最高大臺北地區重要基礎建設，出入口設置高於 200 年暴雨水位。



資料來源：臺灣桃園國際機場第三跑道及基礎設施綜合規劃暨基本設計委託技術服務，臺灣世曦工程顧問股份有限公司、中興工程顧問股份有限公司，111 年。

圖 3.2-22 機場第三跑道防洪排水規劃策略圖

5. 研究結論與建議

(1) 機場公司導入 TCFD 運用氣候情境有效辨識氣候風險，並藉由各風險可能性及營運衝擊權重分析危害度對氣候風險排序，快速針對較具危害之中高風險擬定因應措施。

(2) 透過機場公司過去相關計畫已完成之氣候風險辨識，第三跑道建設工程規劃可預先瞭解基地面臨之氣候風險，於規劃階段針對相關氣候風險研擬因應之調適措施，有利於提高後續工程設計進程。

(3) 目前採取提高設計標準或保留餘裕以因應氣候風險，應持續監測氣候狀況瞭解氣候風險之變化，並即時停止營運，降低損害發生機會。

3.3 案例可借鏡之處

根據前述國內外案例介紹及研析，本節將以「氣候變遷情境與氣候相關資料」、「氣候變遷風險評估」及「氣候變遷調適選項」三個面向，探討國內外案例可借鏡之處。

1. 氣候變遷情境與氣候相關資料

(1) 持續建構本土氣候觀測資料：臺灣應持續建構完善的氣候觀測資料庫，並盡快補足觀測資料缺口，即便是氣候科學領域發展悠久的美國，也存在許多資料或數據不足之處，因此許多案例提到持續的進行氣候資料蒐集、紀錄與監測，對於未來調適業務的進展是很重要的工作。

(2) 推出國家氣候推估情境數據：國家氣候變遷主管機關或氣候科學研究單位應推出國家統一性的氣候變遷未來情境推估數據，並視各領域資料使用需求，提供降尺度資料或建議的降尺度方法，降尺度資料包含空間與時間維度。

(3) 記錄歷史氣候事件數據：針對歷史氣候事件應進行完整記錄，才能為未來調適工作提供更多有用的資訊，包含事件的持續時間、嚴重程度、破壞或造成交通系統中斷的程度、災損程度等。

(4) 依照需求採用不同的氣候推估情境：考量設施重要程度（如道路層級）、服務對象（如人口密度、中低收入戶比例）、風險承受度、預算規模、年期長短的不同，可以採用不同的氣候推估情境，以進行後續氣候風險評估與調適選項設計，如針對較重要的交通要道，可能會有較低的風險承受度，預算規模投入也會較高，就可以考慮採最劣排放情境之氣候推估進行風險評估與研擬調適選項。

2. 氣候變遷風險評估

(1) 依照需求進行不同量化程度的氣候風險評估：依照所具備的資料完整度與需求，進行不同程度的風險評估，如在量化數據不完備情況下可以透過專家問卷進行半定量評估，有進一步量化數據後可以簡單計算設施淹沒與否或淹沒深度，具備更進一步數據後則可以進行水文建模評估淹沒範圍、深度、頻率和延時等。

(2) 瞭解氣候壓力對不同設施的風險差異：相同類型與強度的氣候壓力，對於不同設施、甚至是相同類型但不同級別的設施(如道路系統層級)，可能會產生不同程度的風險，設施主管機關應有所掌握。

3. 氣候變遷調適選項

(1) 依照需求研提初步建議調適選項清單或進一步選定地點進行成本效益分析：根據資料完備度與需求不同，最基本可以初步提出建議的調適選項清單，進一步則可以針對特定地點及設計調適措施，再者可以針對所設計的調適措施進行成本效益評估並進行比較分析。

(2) 依照研究區域可承受風險程度之高低，研擬短期及長期的調適選項：根據風險承受能力的不同、投資水準和短期及長期區分為四象限，短期針對低風險承受區域應提高投資水準，並採取更積極的方法（如提升高風險設施的高度）解決未來可能造成的設施毀損。

(3) 運用及規劃調適路徑：調適路徑可以將未來時間內所有可能的調適選項視覺化呈現，以因應不同時間尺度的不同氣候情境，尤其針對不確定高且預算有限的情況下可採取的一系列調適選項及組合，此種分階段實施、滾動調整的作法更為可行。

(4) 掌握相關調適計畫與研究：在針對研究區域研擬調適選項之前，應充分掌握研究區域進行中、過去和未來的相關調適計畫或研究，才能在與其他機構合作的基礎下，制定合適且需要的調適選項。

(5) 將氣候調適考量具體納入專案契約：個別專案可以在契約當中另外提列經費要求承包商落實氣候變遷調適相關作業，特別是在調適選項研擬過程，如規範必須採用的氣候情境、需要進行的風險評估、調適選項需要進行的成本效益分析或需分析調適選項對周邊環境造成的影響等。

第四章 公路規劃調適指引檢討及推動配套

本章旨在說明公路系統規劃階段調適指引（以下簡稱本指引）滾動檢討之作業過程、檢討重點以及推動配套。為加強推動本指引之應用，本計畫除與公路主管機關進行交流之外，同時透過深度訪談了解國內資深公路規劃專家之意見，以及其他領域氣候變遷調適相關指引之編擬及實際推動經驗；此外，進一步以交通部公路局所提供之案例進行本指引之實作，過程並結合專家工作坊進行意見交流。綜理上述所蒐集之意見進行指引檢討修訂（修訂後指引詳附冊）。最後，本章收納各界對於推動本指引應用之配套建議供參考。

以下內容計分為 5 節，各節之主題依序為 4.1 節說明指引滾動檢討作業流程；4.2 節為機關交流及專家深度訪談；4.3 節說明示範案例演示及專家工作坊辦理過程及發現；4.4 節則彙整前二節所蒐集之指引修正意見進行指引檢討修訂；最後，於 4.5 節綜理指引後續推動建議。

4.1 指引滾動檢討作業流程

本指引滾動檢討作業程序如圖 4.1-1 所示，各項工作概述如下：

1. 機關交流及專家深度訪談

為廣泛蒐集對於本指引內容之建議以及後續推動應用可能面臨的課題，本計畫針對公路設施主管機關、國內資深公路規劃專家及其他領域之氣候變遷調適指引編擬機關（及其專業團隊）等三類對象進行深度訪談與專業溝通交流。

2. 公路示範案例演示及專家工作坊辦理

以「西濱曾文溪橋段新建工程綜合規劃」做為示範案例進行演示，並辦理專家工作坊邀集相關單位與專家以確認規劃過程結合三階段調適機制之可行性：

(1) 第一階段：蒐集與分析氣候變遷情境與氣候相關資料

(2) 第二階段：初步評估影響調適能力的氣候風險因素

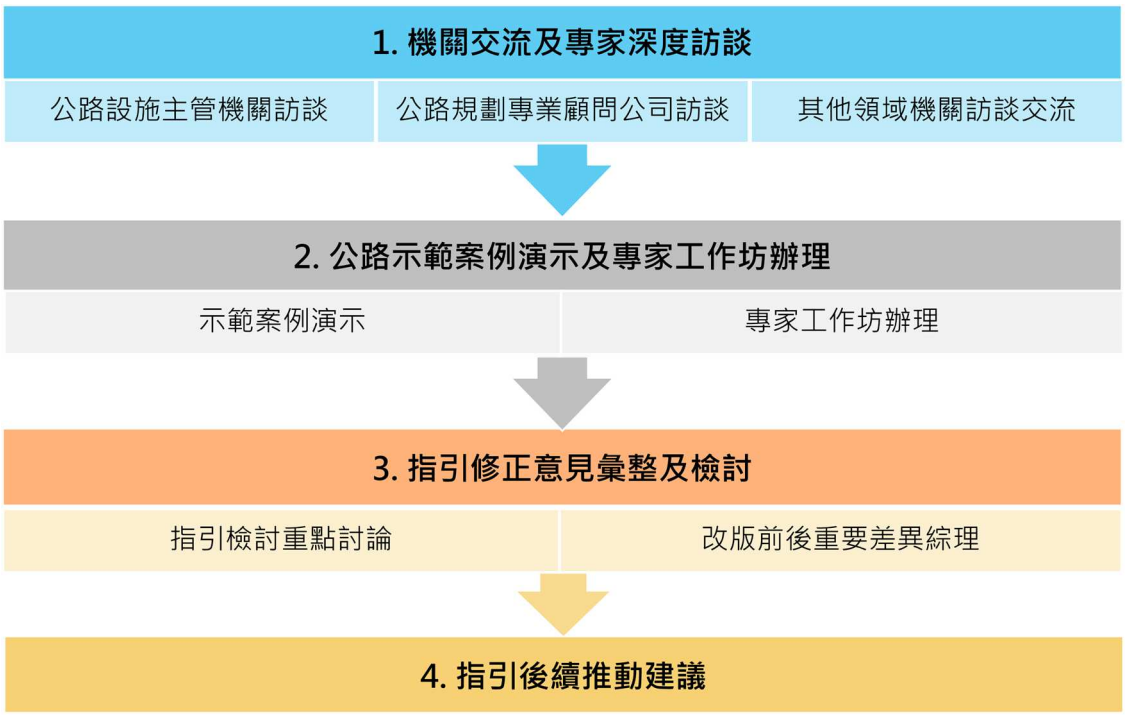
(3) 第三階段：執行氣候變遷風險評估

3. 指引修正意見彙整及檢討

依據前述過程所蒐集之意見依據課題別加以彙整歸納，參考國內外類似指引進行指引內容修訂。

4. 歸納對於指引後續推動之建議

有關政策制度面之建議或指引相關配套措施，無法納入指引修訂者則綜整為推動配套建議。



資料來源：本計畫繪製。

圖 4.1-1 「公路系統規劃階段調適能力指引」滾動檢討作業流程圖

4.2 機關交流及專家深度訪談

機關交流及專家深度訪談主要目的在於蒐集各界對於本指引內容之修訂意見，同時取法國內其他領域機關調適指引推動經驗等，以供本指引檢討及推動之參考。

4.2.1 交流訪談計畫概述

1. 對象設定

依據辦理各工作項目之需要，本計畫之交流訪談對象包含公路主管機關、國內資深公路規劃專家以及國內其他領域曾研擬調適相關指引並推動應用之機關等三者，受訪對象資訊參見表 4.2-1。

2. 交流訪談目的

訪談交流之目的因訪談對象而異。於公路主管機關及公路規劃專家，訪談交流目的在於推廣本指引，以及蒐集其對推動本指引實務應用之建議；於其他領域機關，主要為請教各該領域調適指引之編擬過程以及實際推動應用之經驗。

3. 交流訪談主題

(1) 蒐集推動本指引實務應用之相關建議

首先，訪談重點針對本指引之調適機制操作流程圖與強化調適能力方法部分，探訪受訪者之反饋意見並確認是否具有操作可行性，同時蒐集其他可增進調適指引之實務應用建議。綜上，本主題之訪談討論議題如下：

① 公路系統規劃階段調適能力機制操作流程圖及各步驟說明是否清楚？目前成果應用於規劃實務上是否有其操作可行性？

② 公路系統規劃階段強化調適能力方法說明是否清楚？方法應用於規劃實務上是否有其操作可行性？

③ 是否有其他進一步增進實務應用之建議？

(2) 蒐集公路系統規劃階段調適案例及重要課題

其次，鑒於本計畫擬透過案例蒐集與研析以增進使用者之理解，因此，期望於訪談過程中蒐集公路主管機關與公路規劃專家曾參與調適案例之

經驗，同時了解國內公路規劃過程納入調適作為所面臨的課題。綜上，本主題之訪談討論議題如下：

① 是否曾參與國內外公路調適相關實務推動案例，是否能提供計畫名稱及分享推動經驗？

② 承上，關於該調適案例執行過程中，是否包含氣候變遷資料蒐集及未來情境推估、氣候變遷風險評估、調適選項研擬等工作項目？

③ 承上，關於該調適案例執行過程中，是否有推薦使用的調適指引、操作手冊、資料庫或工具清單？

④ 目前國內調適實務推動面臨的課題為何？

(3) 瞭解公路主管機關推動調適業務之情形

除了指引相關問項之外，本計畫亦透過訪談及交流掌握公路主管機關之調適業務推動情形，包含調適行動計畫之推動情形與調適小組運作情形，調適行動計畫部分包含前一期（107-111 年）執行成果調適行動計畫之執行情形與推動困難，以及新一期（112-115 年）調適行動計畫之推動方向。綜上，本主題之訪談討論議題如下：

① 前一期（107-111 年）調適行動計畫之執行情形？執行該計畫時是否有衍生其他待解決的調適課題？

② 新一期（112-115 年）調適行動計畫擬推動之方向為何？在研擬行動計畫上是否有遭遇課題？期望可以得到的協助為何？

③ 是否已成立氣候變遷調適小組？若有則小組召集人與成員為何？有無定期召開會議討論調適議題？

④ 在調適業務推動上，最大的困難與所需的協助（如工具、制度、標準化作業等）為何？是否有哪些問題涉及跨域協調與分工？

(4) 其他領域機關調適指引推動實務經驗

最後，由於國內公路領域調適相關經驗較為缺乏，因此，本計畫擬借鏡跨領域機關之調適指引實務經驗，包含調適指引研擬經驗及推動經驗，以進行典範轉移，瞭解後續如何強化公路調適指引之實務應用，國內跨領域機關具備調適指引推動經驗之部門包含能源部門、水利部門、工業部門。綜上，本主題之訪談討論議題如下：

① 跨領域機關之調適指引文本研擬經驗分享。

② 跨領域機關之調適指引推動經驗分享。

表 4.2-1 訪談交流對象相關資訊彙整表

編號	受訪單位/交流單位	姓名	職稱	共同受訪同仁/會議交流對象	相關經驗	日期
公路主管機關						
1	交通部高速公路局	羅財怡	規劃組主任工程司	規劃組 道工科－王希光科長 環工科－施博文科長 環工科－莊益賓正工程司 結構科－楊慕泉科長 結構科－劉懋基副工程司 規劃科－劉淑娟副工程司 工務組 工事及災動科－林嘯廷科長 工事及災動科－蕭博仰正工程司	交通部高速公路局規劃組、工務組業務	6/13
2	交通部公路局	李佳輯	養路組主任工程司/公路防災中心副執行秘書	養路組 養護科－林群詔正工程司	交通部公路局養路組業務	7/25
3	交通部公路局	孟伯鈞	規劃組副組長	規劃組（會議交流對象） 公路規劃科－陳承胤科長 公路規劃科－胡効中正工程司	交通部公路局規劃組業務	7/31 (會議交流)
其他領域機關						
4	經濟部能源署	林大景	專門委員	林彥彤專員	能源部門因應氣候變遷風險評估指引(甲方)	5/3
5	工業技術研究院	張雅琪	博士	鍾明修研究員、趙哲碁研究員	能源部門因應氣候變遷風險評估指引(乙方)	5/3
6	經濟部水利署水利規劃分署	羅鈞瀚	助理研究員	-	流域整體改善與調適規劃參考手冊(甲方)	6/1
7	財團法人臺灣綠色生產力基金會	蔡易廷	專案經理	-	製造業氣候變遷調適指引(乙方)	6/2

編號	受訪單位/交流單位	姓名	職稱	共同受訪同仁/會議交流對象	相關經驗	日期
資深公路規劃專家						
8	中興工程顧問股份有限公司	羅嘉麟	經理	鍾文祥經理、劉家齊工程師	淡江大橋及其連絡道路建設計畫	5/4
9	易緯工程顧問股份有限公司	黃志清	副總經理	田珍綺副總經理	省道快速公路改善計畫委託服務工作	5/11
10	林同棪工程顧問股份有限公司	潘格平	協理	-	西濱快速道路曾文溪橋段新建工程可行性評估	5/12

資料來源：本計畫彙整。

4.2.2 公路主管機關及專家意見摘錄

以下摘錄公路主管機關及公路規劃專家之意見重點，包含本指引應用建議（內容建議調整）及後續制度推動建議等，彙整如表 4.2-2，完整訪談紀錄詳見附錄 6。

表 4.2-2 訪談重點彙整表

面向	公路主管機關	公路規劃專家
本指引應用建議（內容調整建議）	• 建議說明可行性研究、綜合規劃階段應配合調適作業之事項及配合程度 • 題目訂為規劃階段，容易令人誤會僅規劃階段需要進行氣候變遷調適 • 加強說明氣候風險的定性評估方法 • 加強說明調適管理等軟性手段 • 成本及經濟效益評估部分，建議增加說明內容以供依循，如因考量氣候變遷之工程經費提升上限建議等	• 建議說明可行性研究、綜合規劃階段應配合調適作業之事項及配合程度 • 機制流程圖中「氣候變遷風險評估」與「建議路線方案工程研究」建議改為雙向箭頭 • 機制流程圖第三階段各分項工程下建議新增「氣候變遷因應措施」，最後將相關因應措施納入建設計畫研析 • 機制流程圖中鼓勵地方團體及公民共同參與部分，建議於規劃階段無須找地方團體及公民參與 • 養護計畫部分，當規劃設計階段所擬之後續養護原則與養護手冊不一致時，可透過養護計畫進行原則性建議，以供後續養護單位依循

面向	公路主管機關	公路規劃專家
		• 提供納入氣候變遷考量之經濟效益評估或成本效益評估方法
後續政策制度推動建議	• 建議產製操作手冊並具體落實至設計規範 • 氣候變遷風險評估機制及程序建議予以法制化，可參考地質法對工程計畫涉及地質敏感區時，需做的評估機制流程之做法 • 氣候變遷主管機關統合各機關單位產製之氣候相關資料，並建立入口網站 • 應由國家權威機構將氣候變遷推估情境與氣候資料轉換為工程界可以實際應用之數據 • 建議參考「經濟效益評估手冊」，針對本指引開發工具軟體並配合案例說明，俾利全國有一致的分析、評估標準	• 建議產製操作手冊並具體落實至設計規範 • 風險評估部分，建議參考生態檢核機制以檢核表方式較具可操作性 • 推動程序建議參考生態檢核經驗，由公共工程委員會訂定原則後，各主管機關再訂定符合各自領域使用之指引、手冊 • 應盡快推廣指引實務應用以逐步累積本土調適經驗，並說明清楚目前所能掌握之資料、工具之限制，後續再滾動修正 • 應由具公信力的權威機關協助將氣候變遷情境推估資料轉譯為可供各領域使用之資訊 • 應推出公版風險地圖，專案各別做會有專家量能不足、經費不足、公信力不足的問題
政策誘因	• 高速公路經費來源為國道公路建設管理基金，一般經費補助誘因較不具吸引力，可從審查機制著手	• 可行性研究階段若發現重要課題，應於綜合規劃階段委託標案時，於契約中編具足夠經費及時間處理，較複雜之課題則應另案研究 • 建議參考生態檢核機制，於金質獎評選機制中納入生態檢核(占比達 10-15%)，並聘請生態專家擔任評審委員
國內案例	• 桃園國際機場第三跑道：桃園國際機場股份有限公司交由高公局代辦 • 氣候偵測站：高公局與中央氣象署合作設置 • UAV 巡檢邊坡：更全面掌握邊坡現況，增加巡檢效能，目前應用於省道改善計畫中所挑選出之山區高風險路段 • 公路防救災資訊系統（bobe168）：整合中央氣象署、水利署等即時資訊，快速傳遞預警資訊給用路人	• 淡江大橋、金門大橋：國內指標性跨海大橋 • 撒拉阿塢橋、萬大橋：受極端氣候衝擊後重建之橋梁 • 蘇花公路改善計畫、蘇花公路安全提升計畫：於規劃時考量較多氣候風險因素，並將評估結果應用於方案評估

面向	公路主管機關	公路規劃專家
其他： 重要調適思維	• 調適路徑強調在辨識未來風險後，逐步推動因應作為並搭配持續監測，此與工程思維強調針對風險一次設計到位不同 • 應於前期規劃、設計階段考量氣候變遷調適，施工、養護階段皆按照前期規劃、設計成果施工及維護，因此要談調適已相對困難 • 由上而下的調適規劃較具整體性考量，如因應河川治理計畫檢討改建河川老舊橋梁，反之由下而上的個案檢討較難有系統性規範	• 調適原則應於綜合規劃階段確立並載於規劃報告書，以供設計階段依循，設計階段不應再做大幅調整 • 目前工程設計多未進行考量未來氣候情境之氣候變遷風險評估，因此目前做法多為選擇較設計規範要求更高之設計強度以因應

資料來源：本計畫彙整。

4.2.3 其他領域機關意見摘錄

針對其他機關（經濟部能源署、經濟部水利署、經濟部產業發展署）之各該領域調適指引推動歷程及相關經驗分享，彙整如表 4.2-3，完整訪談紀錄詳見附錄 6。

表 4.2-3 跨領域機關調適指引重點彙整表

面向	經濟部能源署	經濟部水利署	經濟部產業發展署
調適指引名稱	能源部門因應氣候變遷風險評估指引	流域整體改善與調適規劃參考手冊	製造業氣候變遷調適指引
指引推動歷程	• 100 年開始一對一輔導，教導廠家辨識及評估風險；107 年推出風險評估平臺，協助廠家快速進行風險評估；110 年推出風險評估指引，教導廠家運用指引自主辨識及評估風險	• 109 年核定「中央管流域整體改善與調適計畫（110-115 年）」，規劃將全臺 26 條中央管河川分年辦理調適規劃作業，遂研擬參考手冊	• 101 年為推廣氣候變遷資訊，研擬調適指引，；110 年調整指引架構並推出 TCFD 案例手冊，由於 TCFD、ISO14091 等文件陸續發布及國內法規配合修訂
未來規劃	• 未來規劃推出「調適策略規劃指引」及「監測評價指引」，最終彙整為「能源部門氣候變遷調適指引」 • 陸續推動民營企業調適作業	• 水規分署與 NCDR 簽訂 MOU，正在對 IPCC AR6 資料進行加值，後續供各河川分署使用 • 參考手冊修正方向，將納入過往執行案例輔助說明，讓使用者更易理解各章節內容	• 依照現行指引及案例手冊，持續辦理工作坊向企業宣導調適觀念

面向	經濟部能源署	經濟部水利署	經濟部產業發展署
政策誘因	• 國營事業考成(能源署可建議考成評分，國營事業配合度高、資源充足，有利初期推動)	• 河川分署招標流域調適規劃相關案件時，將依參考手冊內容規範進行審查	• 修訂「上市公司編製與申報永續報告書作業辦法」，要求特定產業別資本額達一定程度以上之企業，應在永續報告書中做到風險揭露
指引定位及內容架構	• 參考永續報告書要求，可做為其基礎 • 初期刻意放較少國外案例，鼓勵廠家發展本土化作法 • 風險評估方面，建議提供參考準則及指標，並依設施重要性及耐災程度決定分級程度，讓廠家更容易進行風險評估，並產出自己的風險矩陣	• 參考手冊屬於規範性質，流域調適規劃相關案件將依參考手冊內容規範進行審查 • 依照參考手冊產出之調適規劃報告不屬於法定計畫，屬於流域治理方針，因此議題處理仍需回歸水利法授權事務推動，如河川治理計畫、逕流分擔等 • 風險評估報告將風險分為五級，評估為高風險時，需檢視治理手段是否足以因應，並以成本效益評估等量化方式評估治理手段	• 110 年調適指引依照 TCFD 架構修正報告書架構，將氣候變遷風險評估獨立於企業內部營運風險評估之外，且開始在報告書中提及氣候情境設定
指引配套措施	• 教育訓練：分級辦理，分為行動班、進階班、主管班 • 風險評估平臺：包含氣候資料、風險評估案例、評估工具	• 平台制度：河川分署、各相關單位及地方社群溝通的重要媒介 • 工作坊：提供調適規劃參與者討論精進的共學平台 • 民眾參與：應明確定義討論議題，討論成果可以積累 • Line 群組：水利署工作團隊、河川分署及其協力團隊有建立共同 Line 群組，以供群組成員活動資訊傳遞或即時提問交流使用	• 案例手冊：因應修法後企業申請輔導需求及意願提升，配合推出 • 工作坊：企業有需求才會參與，因此要創造企業的需求

資料來源：本計畫彙整。

4.3 示範案例演示及專家工作坊辦理

本節旨在說明公路示範案例演示經驗，以及透過專家工作坊交流討論之發現。配合公路局選定之研究示範案例「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」試操作本指引提出的氣候變遷風險評估三階段作業流程，並透過專家工作坊蒐整機關及專家意見，以供後續推動國內公路系統規劃階段調適指引之實務應用參考。

4.3.1 示範案例演示

由於國內尚缺乏氣候變遷風險評估相關實務操作經驗，因此本計畫配合公路局選定之研究示範案例「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」，試操作本指引之氣候變遷風險評估三階段作業流程，以驗證其可操作性。

1. 研究示範案例選定

首先應選定適合做為公路調適指引研究之國內公路示範案例，為避免示範案例影響工程專案原定期程，因此初步篩選已完成規劃階段（包含可行性研究、綜合規劃）之公路系統規劃專案，且以位於易受氣候衝擊地區為原則，如西部沿海地區等，較能顯現氣候變遷風險評估結果之差異，經與公路局討論研議，最終確認以「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」做為示範案例。

2. 研究示範案例相關資源盤點

針對示範案例盤點目前資源現況，包含相關資料、相關計畫，相關資料係透過各機關單位、網路公開平臺盤點所能掌握之基礎資料及圖資、氣候相關資料等，初步評估資料現況能否滿足工作所需；蒐集之相關計畫包含西濱快速公路曾文溪橋段新建工程綜合規劃報告書、曾文溪水系曾文溪治理規劃檢討報告、曾文溪流域整體改善與調適規劃報告等。

此外，應盤點與示範案例相關之利害關係人，組成調適工作小組以利後續召開專家工作坊，調適工作小組成員包含國家災害防救科技中心、經濟部水利署第六河川分署、公路局、台灣世曦工程顧問公司、易緯工程顧問股份有限公司等。

3. 研究示範案例實作

本計畫實際操作氣候變遷相關資料蒐集與分析、初步評估影響調適能力氣候風險因素以及氣候變遷風險評估等調適三階段步驟，以驗證指引操作流程之可行性，並將實際操作過程中所面臨之問題或需透過調適工作小組討論確認之議題盤點蒐整。

4.3.2 專家工作坊辦理

1. 專家工作坊辦理目的及討論議題

(1) 辦理目的

透過專家工作坊與調適工作小組進行討論以驗證指引操作流程之可行性，專家工作坊內容包含示範案例調適三階段步驟演示、執行氣候變遷風險評估以及針對團隊前述蒐整之議題進行討論，透過專家工作坊蒐整調適工作小組成員意見，以完善示範案例並滾動檢討公路調適指引。

(2) 討論議題

本計畫依據該案例於規劃階段可取得之資訊，採用半定量風險評估方法，以召開專家工作坊方式進行議題討論，最終執行氣候變遷風險評估作業。透過專家工作坊可針對尚有疑義之調適相關議題進行討論，蒐整本土調適經驗，亦可在資料相對不足的情況下進行氣候變遷風險評估，適合國內公路領域現階段推動氣候變遷調適。專家工作坊之討論議題重點如下：

① 確認氣候變遷相關資料蒐集與分析之完備性

② 辨識專案面臨之氣候壓力與衝擊，並指認相關氣候風險因素

③ 研議適用於專案之風險評估指標、閾值與權重

④ 進行氣候變遷風險評估

⑤ 中高風險區域之調適策略與措施

2. 專家工作坊參與人員

本計畫已於 112 年 10 月 12 日（四）上午召開專家工作坊討論上述相關議題，該專家工作坊邀請 NCDR 針對氣候變遷相關資料蒐集與分析給予建議與指導，與會者除有關「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」之可行性研究與

綜合規劃執行團隊成員外，另包含交通部高速公路局及中興工程顧問股份有限公司參與試操作之議題討論及觀摩。以下整理與會人員相關資訊，參見表4.3-1：

表 4.3-1 專家工作坊參與人員相關資訊彙整表

編號	與會單位	姓名	職稱	與會者經驗
1	國家災害防救科技中心	陳永明	組長	氣候變遷推估情境與氣候相關資料主管機關
2	交通部公路局	胡効中	正工程司	公路局「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」中央主管機關
3	交通部高速公路局	施博文	科長	高速公路局「國 2 甲由台 15 線延伸至台 61 線新建工程計畫」中央主管機關
4		莊益賓	正工程司	
5	台灣世曦工程顧問股份有限公司	湯允中	副理	公路局「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」綜合規劃團隊
6	易緯工程顧問股份有限公司	黃志清	副總經理	公路局「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」可行性研究團隊
7	中興工程顧問股份有限公司	鄭文明	水利技師	高速公路局「國 2 甲由台 15 線延伸至台 61 線新建工程計畫」規劃團隊
8		陳信諺	計畫副理	
9		鄧邑柔	工程師	
10		蔡宜穎	工程師	
11	交通部運輸研究所運輸能源及環境組	賴宜弘	副研究員	公路系統規劃階段氣候變遷調適指引擬定與檢討團隊
12	鼎漢國際工程顧問股份有限公司	吳清如	副總經理	
13		吳柏萱	規劃師	
14		林真德	助理規劃師	
15		孫玉慈	助理規劃師	
16	中興工程顧問股份有限公司	楊斯堯	工程師	
17		劉家齊	工程師	

資料來源：本計畫彙整。

4.3.3 示範案例操作之重要發現

經專家工作坊討論綜理重要發現如下，其他意見彙整如表 4.3-2。

1. 增納前置作業

考量國內公路領域氣候變遷調適尚在起步階段，於氣候情境設定與氣候資料應用、氣候議題界定、氣候變遷風險評估等作業方面，工程規劃團隊皆須與相關機關與專家討論研議。因此，建議各工程專案應於氣候變遷調適作業開始執行前即組織調適工作小組，調適工作小組成員除主辦單位及工程規劃團隊外，建議至少應包含氣候變遷調適主管機關與所涉環境區位相關主管機關，並建立調適工作小組討論及意見徵詢機制（如專家工作坊）。

2. 蒐集與分析氣候變遷相關資料

各專案針對氣候推估情境與氣候相關資料有其他特殊使用需求者，建議可與氣候變遷資料提供機關討論研議，提供符合專案需求之氣候推估情境與氣候相關資料。

3. 初步評估影響調適能力氣候風險因素/氣候變遷風險評估

針對氣候風險議題複雜、風險不確定性高之專案，建議可與調適工作小組討論研議，逐步收斂專案氣候風險議題。

各專案針對氣候變遷風險評估所需之專案基礎資料、氣候相關資料是否完備，建議透過調適工作小組討論確認；針對風險評估所使用之指標、閾值與權重，依照各專案需求不同，應與調適工作小組討論決定。

表 4.3-2 工作坊討論意見重點彙整表

面向	國家災害防救科技中心	公路主管機關/公路規劃專家
蒐集與分析氣候變遷相關資料	• 海平面上升模擬資料預計年底提供公開圖資 • 國家調適應用情境係提供各領域執行調適工作時之共同參考基礎，惟各專案仍得視需要洽國科會提供其他適合專案使用的情境 • 氣候資料之應用需求各領域皆不同，建議先瞭解專案需考量之關鍵氣候因素，再透過氣候科學資料模擬氣候因素未來變化	• 本計畫於規劃階段有進行氣候資料蒐集分析，惟針對未來趨勢部分較少量化描述，期許未來透過指引指導可進行更完整分析
初步評估影響調適能力氣候風險因素/氣候變遷風險評估	-	• 除強降雨、暴潮及海平面上升等危害外，河口跨河橋梁規劃亦須考量主河道變遷、河川淤積、未來洪峰流量、風力等因素，應提供更完整數據，以利完成更完整氣候變遷風險評估 • 橋梁設計時之重要性係數已涵蓋交通量，且認為交通量應非「嚴重性」，故建議更換指標 • 「可能性」中並無淹水發生機率相關資料可供參考 • 「嚴重性」中淹水深度的基礎深度應詳加描述，係以道路路面或周邊魚塭為基礎 • 「可能性」或「嚴重性」中有一個以上指標時，可由規劃團隊與主辦單位討論加權比重 • 建議指引提供「可能性」與「嚴重性」可供參考的指標 • 建議訂定統一評估表、情境及年期，增加評估基礎的一致性，並將相關資料公開減少資料不對等造成的隱匿問題，以解決由規劃團隊完成氣候變遷風險評估表之可能的公正性疑慮
其他：增納前置作業	• 建議應由規劃團隊先釐清專案面臨的課題，界定關鍵問題，再進行氣候變遷風險評估表之設計填寫，規劃團隊應包含各項工程專業	• 由於各專案有其特殊性，非規劃團隊成員無法透過幾次專家工作坊就充分瞭解專案並進行風險評分，故建議應由規劃團隊各工程專業單位初評，後由工程風險專家彙整成果，最後再藉由專家工作坊或審查會議檢視評估成果給予建議

資料來源：本計畫彙整。

4.4 指引修訂意見彙整及檢討

本節首先回顧前期計畫所擬指引之架構及內容，接續綜理經交流訪談及案例實作工作坊所彙整之修訂意見、歸納檢討重點並研擬處理方式，而後進行指引修訂作業（修訂後指引詳見附冊），同時針對改版前後重要差異進行比較。

4.4.1 前期指引架構及內容概述

前期計畫指引計分為五章，其架構及內容說明如下：

第一章導讀說明何謂氣候變遷調適的概念及原則，並蒐整國際氣候變遷調適趨勢；第二章概述臺灣的氣候變遷情境以及氣候變遷對於公路系統的衝擊；第三章說明如何將氣候變遷因素融入公路系統之規劃流程，並說明各階段之作業程序；第四章延續所建立之機制，進一步針對機制中較為困難且關鍵之步驟提供國際調適目前採用之方法說明；第五章為結語，同時分享氣候變遷調適的學習資源，期能有助於氣候變遷調適能力建構（參見表 4.4-1）。

表 4.4-1 前期指引架構及內容說明表

章	節	標題	子標題	內容摘述
摘要				
1	導讀			
1	1.1	前言	1.緣起及目的	1.緣起：為何公路系統需因應氣候變遷調適 2.本指引之目的
			2.適用範疇	1.以省道、快速公路及高速公路為對象 2.主要適用於新建及改建之規劃作業階段 3.指引部分內容具廣泛應用價值
			3.適用對象	1.公路系統管理者：公路管理機關決策者、承辦人員 2.公路系統專案審查者：審查委員、審查作業人員 3.公路系統規劃專業者：專業顧問公司從業人員 4.其他利害關係人
	1.2	名詞定義	調適專有名詞定義	專有名詞定義說明包含氣候變遷、氣候變遷調適、韌性、風險、危害度、暴露度、脆弱度、調適能力、風險管理等

章	節	標題	子標題	內容摘述
	1.3	氣候變遷調適之基本概念	1.全球暖化衝擊與因應：減緩與調適	UNFCCC 於歷次公約會議指出面對全球暖化及氣候變遷現象的兩個主要策略為：減緩與調適
			2.氣候變遷調適	依據溫管法「氣候變遷調適」係指人類系統，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
			3.氣候變遷調適作為	實務上氣候變遷調適即是管理、處理及治理氣候變遷為系統帶來的風險。因應氣候變遷用以調節氣候風險的各種手段，包含機制面、方法面等，均可視為調適作為
			4.調適關鍵要素	FHWA 指出任何調適研究應包括五項基本要素
			5.調適及防災的差異	防災是依過去致災原因，進行災害應變作為，而調適係考量未來氣候變遷情境，探討未來調適缺口及因應方法。
			6.氣候韌性發展	IPCC AR6 提出「氣候韌性發展」係為減低溫室氣體排放並且強化永續發展的調適行動過程
	1.4	氣候變遷調適最新發展趨勢	1.國際氣候變遷調適最新趨勢(IPCC)	IPCC AR6 摘述全球調適推動現況及其效益
			2.國際氣候變遷調適標準(ISO)	1.ISO 14090 重點摘述 2.ISO 14091 重點摘述
			3.國內氣候變遷調適推動現況與未來方向	從國內文獻摘錄調適推動現況與未來方向
	1.5	指引結構說明	章節架構	章節安排說明由淺入深，建議依序閱讀
2	氣候變遷對公路系統的衝擊			
2	2.1	臺灣氣候變遷推估資訊	1.全球排放情境與增溫幅度推估	IPCCAR6 推估至少到 21 世紀中葉前全球地表溫度將會持續升高
			2.臺灣氣候變遷推估	臺灣各地氣溫未來推估將持續上升，且未來極端高溫事件中，各地高溫 36℃以上日數增加
			3.國家氣候變遷情境設定	提出國內未來氣候變遷情境—以 1.5℃（短期）；2℃（中期）；3℃-4℃（長期）做為國內氣候變遷情境設定
	2.2	氣候變遷對公路系統之衝擊	1.臺灣公路系統面臨的氣候壓力	國內公路系統面臨的氣候壓力因素： 1.強降雨 2.強風 3.高溫 4.暴潮/風浪 5.海平面上升

章	節	標題	子標題	內容摘述
			2.公路系統之概念與組成	「公路系統」之概念與組成說明： 1.路段尺度 2.路廊尺度 3.路網尺度
			3.氣候變遷對公路系統的潛在衝擊	將公路系統區分為路段、路廊及路網三種不同的尺度，分別說明其在氣候變遷環境下面臨的潛在氣候衝擊，並以表格方式呈現 臺灣山區公路面臨的衝擊案例：說明路廊複合型潛在危害評估- 以台 20 線南橫公路勤和至復興鄉路段為例
3	公路系統規劃階段強化調適能力機制			
3	3.1	公路系統規劃作業流程融入調適概念之框架	公路系統規劃流程融入調適概念之框架	說明公路系統規劃流程融入調適概念的流程圖
	3.2	第一階段：蒐集與分析氣候變遷相關資料	1.增納「氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析」工作項目 2.作業程序說明	提供國內公開可取得之資料項目以及非公開資之項目及蒐集方法(如維護紀錄等)
	3.3	第二階段：初步評估影響調適能力之氣候風險因素	1.增納「初步評估影響調適能力的氣候風險因素」工作項目 2.作業程序說明	建議透過專業工作小組會議，邀集有經驗之專業者共同研判初步評估，俾利指認氣候變遷對公路系統之關鍵影響與評估路線方案
	3.4	第三階段：執行氣候變遷風險評估	1.增納「氣候變遷風險評估」工作項目 2.作業程序說明	於「建議路線（廊）方案工程研究」執行之前即應啟動氣候變遷風險評估作業，並將評估結果納入後續的規劃作業中。 歐洲 DOADAPT 及美國 FHWA 調適框架實測 -以荷蘭 InnovA58 公路擴建計畫為例
	3.5	公路跨其他運輸系統調適介面整合機制	公路跨其他運輸系統調適介面整合機制	公路規劃循三階段融入氣候變遷調適之理念，倘使該公路系統之區位或是功能涉及其他運輸系統，需另行增加利益相關者或有關機關單位的合作與溝通協調作業
	3.6	本章重要觀念	回顧本章重要觀念	說明如何於規劃流程融入調適以及各階段調適重點

章	節	標題	子標題	內容摘述
4	公路系統規劃階段強化調適能力方法			
4	4.1	公路系統氣候衝擊鏈分析方法	1.「氣候衝擊鏈」理論基礎	「氣候衝擊鏈」之建構理論基礎為 IPCC AR5 對於「氣候變遷調適」的操作概念以及「氣候衝擊風險」的定義
			2.「氣候衝擊鏈」分析項目	「氣候衝擊鏈」之分析項目包含： (1)氣候壓力因素 (2)暴露因素 (3)脆弱因素
			3.公路系統所在環境區位與氣候壓力因素	公路系統之氣候衝擊類型及程度與所處區位地理環境有關，臺灣地區之山區與平原公路系統所面臨的氣候壓力因素有別
			4.公路系統氣候衝擊鏈分析方法之參考案例	提供示範氣候衝擊鏈分析方法： (1)山區公路系統之氣候衝擊鏈分析-強降雨 (2)平原公路系統之氣候衝擊鏈分析-暴潮/風浪及海平面上升
			5.公路系統氣候衝擊鏈分析方法之應用建議	建議各專案應透過專家工作小組共同討論，據以產出專屬各公路專案之氣候衝擊鏈分析成果
	4.2	公路系統氣候風險評估之方法	1.日本獨立行政法人國際協力機構：氣候風險評估及調適指引（2019 年）	氣候風險評估之建議流程： (1)氣候風險評估準備流程 (2)氣候風險評估執行流程
			2.加拿大英屬哥倫比亞省交通局：公路交通建設面對氣候變遷的韌性設計－實務指引(2020 年)	針對公路基礎設施之風險評估層級及氣候風險評估程序建議： 篩選層級之風險評估方法案例- 以交通部運輸研究所鐵公路風險地圖為例
			3.公路系統氣候變遷評估方法之應用建議	針對中高風險者進行定性評估，最後僅選出高風險之重大基礎設施進一步定量評估
	4.3	公路系統因應氣候變遷衝擊之調適選項	1.FHWA－以綜合方法提升專案開發的氣候韌性(2017 年)	公路工程領域的調適選項綜理歸納為五種類型： (1)管理和維護 (2)增加備援力 (3)保護 (4)調整 (5)搬遷
			2.FHWA－以自然為本提升海岸公路韌性的解決方案（2019 年）	介紹運用於海岸公路以自然為本的解決方案常見的手法

章	節	標題	子標題	內容摘述
			3.IPCC AR6 綜整之運輸系統調適選項（2022 年）	應用於運輸系統之調適選項，主要可分為四大類： (1)硬保護 (2)調整與升級 (3)搬遷 (4)以自然為本的調適措施
			4.公路系統調適選項列舉說明	提供公路系統氣候衝擊與調適選項類別對照表，以利決策者理解及應用
			5.公路系統調適選項之應用建議	說明實務應用通常需因地制宜搭配多個調適選項 如何研擬調適選項案例： 美國波士頓地區 MPO 研擬調適選項為例
	4.4	面對高度不確定性之決策方法	1.方法一：情境規劃	情境規劃注重於應對未來各種狀況的規劃方法，過程中可利用未來情境矩陣進行分析
			2.方法二：調適路徑	由於可採行的調適選項往往有多種選擇，故可能產生的「路徑」亦可能為多種選項之組合
			3.方法三：穩健決策	RDM 使用模擬模型來評估未來多種可能路徑中的建議調適選項
			4.未來高度不確定之下的決策方法之應用建議	為協助決策者在未來高度不確定之下研擬調適選項，可視專案特性及需求選擇合適的決策方法
	4.5	本章重要觀念	回顧本章重要觀念	針對前一章調適機制較為困難且關鍵之步驟，提供國際上目前採用之調適方法說明
5	結語			
5	5.1	結語	結語	當前全球已處於氣候變遷緊急狀態，採取因應作為調適氣候變遷的衝擊刻不容緩
	5.2	學習資源	學習資源	提供國內外常用的氣候變遷調適相關資訊網站列表
參考文獻				

資料來源：公路系統規劃階段強化調適能力之探討（2/2）期末修正定稿報告，交通部運輸研究所，民國 111 年。

4.4.2 指引修訂意見歸納及處理

綜理 4.2 節及 4.3 節所述之交流訪談及案例實作工作坊意見，其中有關指引內容修訂之意見大致可歸納為以下七種類型，本指引配合相關意見檢討修訂情形彙整如表 4.4-2。相關意見概述如下：

1. 指引名稱、定位及範疇再確認

(1) 指引名稱應說明清楚，原「公路系統規劃階段調適指引」建議可改為「公路系統規劃階段氣候變遷調適指引」。

(2) 由於題目訂為規劃階段，容易令人誤會僅規劃階段需要進行氣候變遷調適，建議於適用範疇加強說明並說明新建及改建規劃是否皆可適用。

(3) 指引定位應說明清楚係屬原則通用型或是詳細操作型：若是屬原則通用型/框架層次的指引，應著重在加強調適基本概念介紹及觀念釐清；若是詳細操作型則需類似指引手冊功能，為求最終產出標準化的成果呈現方式，需提出細部操作流程以做為實務操作參照用。

2. 配合國內法令與相關規範更新名詞定義，並加強名詞定義說明

(1) 配合國內法令與相關規範更新名詞定義，建議採氣候變遷因應法暨相關子法、環境部氣候變遷名詞手冊及其他具公信力的國際機構之定義。

(2) 指引初稿之名詞定義雖已採用具公信力的國際機構之定義（如 IPCC 等），但有些名詞論述較為抽象，必要時可採公路規劃觀點加以註解。

3. 氣候變遷調適理念融入公路規劃之流程調整建議

(1) 為協助公路主管機關實務面之調適推動，配合目前公路主管機關擬將調適工作納入契約要求，建議於機制流程補充說明可行性研究、綜合規劃階段應配合調適作業之事項及配合程度。

(2) 後續相關機制流程推動方向，建議未來可將氣候變遷風險評估機制及程序予以法制化，可參考地質法對工程計畫涉及地質敏感區時，需做的評估機制流程之做法等，制定氣候變遷風險評估機制及程序等。

4. 公路規劃階段之氣候變遷情境選擇、設定及所需資料之來源、運用等問題

(1) 指引提出於規劃階段應進行氣候資料蒐集分析，惟針對未來氣候變遷趨勢及氣候變遷情境資料應如何取得及運用等細部指導尚不明確，期

許可透過指引（包含必要時諮詢氣候/調適相關專家）獲得更多指導，以利公路專案進行。

(2) 公路主管機關對於目前可取得之氣候情境資料在無相關專家引導下仍無法直接應用，需要相關機關進行加值應用或透過相關研究補足知識缺口。

(3) 建議可由具公信力的國內權威機關協助將氣候變遷情境資料轉譯為可供公路領域應用之資訊，或透過專家工作坊討論以利初步瞭解所需氣候相關資料。

5. 公路規劃階段氣候變遷風險評估作業之相關問題

(1) 由於國內目前尚無公路系統氣候變遷風險評估之經驗，建議增納（氣候變遷風險評估）前置作業，由專案規劃團隊邀集利害關係者先初步釐清專案可能面臨的調適課題，界定關鍵問題之後訂定目標及預期成果，再執行氣候變遷風險評估。

(2) 目前公路主管機關執行調適推動困境是，公路系統現階段尚不具備足夠數據及技術進行量化之氣候變遷風險評估。建議於指引加強說明氣候變遷風險評估的定性評估方法，並說明公路規劃階段氣候變遷風險評估如何進行以及氣候變遷風險評估有哪些必要的工作等。

6. 調適選項相關建議

(1) 由於《氣候變遷因應法》及目前尚在研擬中的《氣候變遷風險評估作業準則（草案）》並無強制規定須執行研擬調適選項或調適選項成本效益分析，但為有助於決策者推動調適時，需要輔以成本效益分析以利選擇調適選項，故建議補充調適選項成本效益分析論述。

(2) 為強化調適選項與氣候變遷風險評估結果之關聯性，可考慮把「調適選項」納入綜合規劃報告的氣候變遷風險評估表內容，讓使用者可依據評估結果視需要研擬調適選項。

7. 案例相關建議

國內公路調適案例仍有侷限性，多以議題式操作（如複合性災害），尚無完整納入調適概念，且多未使用氣候變遷推估情境或進行氣候變遷風險評估。為完整說明規劃三階段調適工項的關聯性，建議以國內公路案例說明。

表 4.4-2 指引修正意見暨處理情形一覽表

項目	意見類型	處理情形	修訂章節
1	指引名稱、定位及範疇再確認	1.指引名稱：擬修訂為「公路系統規劃階段氣候變遷調適指引」 2.指引定位：屬框架層次的指引，主要內容為引介理念、程序及方法，並運用案例說明操作流程，以利理解 3.適用範疇：補強指引適用範疇說明，主要適用對象為高快速公路及省道之新建及改建規劃	封面、摘要、1.1 節（前言）
2	配合國內法令與相關規範更新名詞定義，並加強名詞定義說明，以利理解	1.採氣候變遷因應法暨相關子法、環境部氣候變遷名詞手冊以及其他具公信力的國際機構之定義（如 IPCC、ISO 等），儘量標註原文出處 2.必要時採公路規劃觀點加註解	1.2 節（名詞定義）
3	氣候變遷調適理念融入公路規劃之流程調整建議	1.擬增補「可行性研究」及「綜合規劃」報告書之基本要求事項 2.「調適選項」納入綜規報告的氣候變遷風險評估表內容 3.「氣候變遷風險評估」與「工程研究」二者應為互相反饋的關係，擬配合調整流程圖，並補充說明「殘餘風險」如何處理 4.擬參考地質法涉及地質敏感區時須執行的評估機制流程，其分為「區域調查」與「細部調查」二層次，可類比本指引之「第二階段初步評估影響調適能力之氣候風險因素」（建議於可行性研究進行）與「第三階段執行氣候變遷風險評估」（建議於綜合規劃進行）	3.1~3.4 節（調適機制）
4	公路規劃階段之氣候變遷情境選擇、設定及所需資料之來源、運用等問題	1.如何選擇情境：建議以「國家氣候變遷調適行動計畫（112-115 年）」所採用的「國家調適應用情境」為參考情境 2.如何設定期間：建議參考資料可取得性及公路設施的年限加以設定 3.如何研判所需資料：依據專案所在區位、設施性質及功能、使用年限及過去及未來可能面臨的氣候壓力因素，研判所需蒐集之氣候及相關環境變異資料，必要時諮詢專家 4.如何取得所需資料：目前氣候變遷資料與圖資主要由國科會「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫」（以下簡稱 TCCIP）團隊產製，擬更新及補充說明目前 TCCIP 之資料	3.2 節（第一階段：蒐集與分析氣候變遷相關資料）、新增 4.4 節（氣候相關資料蒐集與分析）

項目	意見類型	處理情形	修訂章節
5	公路規劃階段氣候變遷風險評估作業之相關問題	1.公路規劃階段氣候變遷風險評估有哪些必要的工作（What）： (1)準備工作：界定評估範疇、確認利害關係人並著手蒐集相關資料，資料蒐集內容應足夠揭露未來可能的氣候變遷風險。 (2)初步評估：運用氣候變遷相關推估數據以及實務經驗初步評估公路未來將面臨危害、暴露及脆弱因素，指認風險相對較高區位，供方案選擇參考。 (3)詳細評估：針對中高風險級別以上區位進一步詳細評估公路的重要組成、風險成因及風險程度，並研擬調適選項供工程規劃及設計階段參考 2.氣候變遷風險評估如何進行（How）： (1)新增氣候變遷風險評估前置作業 (2)若現階段尚難進行定量評估，建議加強定性評估並著重風險辨識及揭露 (3)說明評定風險等級的方法，提出具體的分級方式供參考，如風險矩陣等 (4)氣候變遷風險評估與目前的中長程個案計畫之風險管理等工作建議整合 (5)建議公路主管機關之資深人員參與氣候變遷風險評估作業	新增第四章（前置作業）、調整原 4.2 節至新 5.2 節（執行公路系統氣候變遷風險評估方法）
6	調適選項相關建議	1.確實有必要輔以成本效益分析選擇調適選項，但現階段分析方法及資料問題均待解決，故此版暫不納入 2.為加強連結調適選項與氣候變遷風險評估的關聯性，將「調適選項」納入綜規報告的氣候變遷風險評估表內容	3.1~3.4 節（調適機制）
7	案例相關建議	指引補充完整案例示範說明三階段調適作為之間以及風險評估與調適選項之關聯性	新增附錄

資料來源：本計畫彙整。

4.4.3 指引改版前後重要差異說明

本計畫以前期計畫編擬的指引為基礎，經公路主管機關與公路規劃專家訪談以及專家工作坊溝通交流後，參考相關文獻進行改版。本次改版主要修訂重點如下：

第一章至第二章內容更新，配合 2023 年發布施行之氣候法以及主管機關之政策進行名詞定義更新、氣候變遷推估資訊補充等；第三章配合公路主管機關以及公路規劃專家之意見，增補「可行性研究」及「綜合規劃」報告書之基本要求事項。

第四章配合訪談之公路規劃實務操作需求，針對氣候變遷風險評估相關工作項目之作業方法適度進行內容增補 ISO 14090 系列標準有關前置作業之相關程序，且考量第四章增補後篇幅過大，故將「公路系統調適選項及決策方法」等內容移編至第六章。由於指引定位屬原則通用型、框架層級，整體架構主要依循由淺入深編排方式，第六章內容性質上偏學理概念及國際調適新知及案例分享，可做調適進階作業參考用。

第七章結語則依原第五章內容進行擴充，並配合行政院部會改組更新學習資源名稱及網址；最後，配合本期計畫期末階段公路示範案例研究內容，新增附錄（增納公路系統規劃階段調適示範案例），運用案例說明公路規劃三階段操作流程，以利使用者理解指引各調適工項的關聯性。

改版前後重要差異綜理如表 4.4-3。

表 4.4-3 改版前後各章節重要差異對照表

章節	111 年計畫		本期計畫		調整說明
1	導讀				（章節標號、標題無變更）
1	1.1	前言	1.1	前言	1.指引名稱：修訂為「公路系統規劃階段之氣候變遷調適指引」 2.指引定位：屬框架層次的指引，主要內容為引介理念、程序及方法，並運用案例說明操作流程
	1.2	名詞定義	1.2	名詞定義	1.採氣候變遷因應法暨相關子法、環境部氣候變遷名詞手冊以及其他具公信力的國際機構之定義（如 IPCC、ISO 等），儘量標註原文出處 2.新增名詞定義包含：情境、氣候壓力、衝擊、氣候變遷風險、氣候變遷調適、風險評估、調適選項及調適路徑 3.必要時採公路規劃觀點加註解，已加註名詞包含：氣候變遷、氣候變遷調適、韌性、風險、危害、暴露度、脆弱度、調適能力、氣候變遷風險及氣候變遷調適
	1.3	氣候變遷調適之基本概念	1.3	氣候變遷調適之基本概念	1.針對調適基本概念補充圖文說明，包含氣候變遷風險圖說明、氣候變遷風險圖與調適作為概念圖，另調整調適關鍵要素標題名稱，改為調適決策（過程） 2.刪除本節之全球暖化衝擊與因應減緩與調適之名詞定義說明，以避免與前節內容重複
	1.4	氣候變遷調適最新發展趨勢	1.4	氣候變遷調適最新發展趨勢	1.綜整 ISO 近五年發布有關調適之四項標準並整理成表 2.補充氣候變遷因應法提及之調適相關重要內容，並更新國內調適推動現況（至 112 年）
	1.5	指引結構說明	1.5	指引結構說明	1.調整架構，並新增附錄（案例） 2.更新原圖 1.9，提供章節應用索引
2	氣候變遷對公路系統的影響				（新增 2.1 節）
			2.1	全球暖化與氣候變遷推估	1.為加強對全球暖化與情境推估理解，將 2.1 節名稱改為全球暖化與氣候變遷推估 2.補充說明 IPCC 氣候情境推估及固

章節	111 年計畫		本期計畫		調整說明
					定增溫情境設定
	2.1	臺灣氣候變遷推估資訊	2.2	臺灣氣候變遷趨勢	1.章節更名，原 2.1 臺灣氣候情境推估內容移至新 2.2 臺灣氣候變遷趨勢 2.更新國家氣候變遷情境設定說明
	2.2	氣候變遷對公路系統之衝擊	2.3	氣候變遷對公路系統之衝擊	原 2.2 內容移至新 2.3
3	公路系統規劃階段強化調適能力機制				（刪原 3.5 節）
3	3.1	公路系統規劃作業流程融入調適概念之框架	3.1	公路系統規劃作業流程融入調適概念之框架	增加本指引之「第二階段初步評估影響調適能力之氣候風險因素(建議於可行性研究進行)」與「第三階段執行氣候變遷風險評估(建議於綜合規劃進行)」之說明
	3.2	第一階段：蒐集與分析氣候變遷相關資料	3.2	第一階段：蒐集與分析氣候變遷相關資料	1.各階段增補「可行性研究」及「綜合規劃」報告書之基本要求事項 2.配合公路實務需求，透過公路調適示範案例演示，於第四章加強國內可行之作業方法說明
	3.3	第二階段：初步評估影響調適能力之氣候風險因素	3.3	第二階段：初步評估影響調適能力的氣候風險因素	1.各階段增補「可行性研究」及「綜合規劃」報告書之基本要求事項 2.配合公路實務需求，透過公路調適示範案例演示，於第四章加強國內可行之作業方法說明
	3.4	第三階段：執行氣候變遷風險評估	3.4	第三階段：執行氣候變遷風險評估	1.各階段增補「可行性研究」及「綜合規劃」報告書之基本要求事項 2.配合公路實務需求，透過公路調適示範案例演示，於第四章加強國內可行之作業方法說明
	3.5	公路跨其他運輸系統調適介面整合機制	-	-	刪除 3.5 跨其他運輸系統調適介面整合機制
	3.6	本章重要觀念	3.5	本章重要觀念	原 3.6 內容移至新 3.5
4	前置作業				(配合實務面操作需求，參酌 ISO 14090 系列標準，新增第四章前置作業專章)
5	公路系統規劃階段強化調適能力方法		公路系統規劃階段氣候變遷風險評估作業方法		（原第四章擴編為第四、五章）
	4.1	公路系統氣候衝擊鏈分析方法	5.1	建構公路系統氣候衝擊鏈	參酌 ISO 14090 系列標準，原 4.1 節移至新 5.1 節，並酌修氣候衝擊鏈之作業方法
	4.2	公路系統氣候風	5.2	公路系統氣候風	原 4.2 標題移至新 5.2，配合案例示範

章節	111 年計畫		本期計畫		調整說明
		險評估之方法		險評估方法	演示成果，改寫國內公路可行之氣候風險評估方法
	4.5	本章重要觀念	5.3	本章重要觀念	配合本節增補及刪減內容更新小結
6			公路系統調適選項及決策方法		（原第四章擴編為六章）
	4.3	公路系統因應氣候變遷衝擊之調適選項	6.1	公路系統因應氣候變遷之調適選項	原 4.3 標題移至新 6.1
	4.4	面對高度不確定性之決策方法	6.2	面對高度不確定性之決策方法	原 4.4 標題移至新 6.2
			6.3	本章重要觀念	配合章節調整新增 6.3
5	結語		7	結語	（章節標號順移、標題無變更）
	5.1	結語	7.1	結語	原 5.1 標題移至新 7.1 配合指引增補及刪減內容更新小結
	5.2	學習資源	7.2	學習資源	1.原 5.2 標題移至新 7.2 2.配合行政院部會改組更新學習資源名稱及網址
				附錄	(新增附錄)

資料來源：本計畫彙整。

4.5 指引後續推動建議

本指引性質上屬框架層次的指引，主要內容為引介理念、程序及方法，並運用案例說明操作流程以利理解。參酌前述公路主管機關及公路規劃專家之意見，以及國內其他領域之推動實務經驗，綜理未來本指引推動之配套措施如下：

1. 建議公路主管機關將調適工作納入規劃案之標規，並適度編列所需經費

行政院國發會「行政院所屬各機關中長程個案計畫編審要點」之「中長程個案計畫自評檢核表」已於 112 年 8 月 11 日修正，明確將「是否強化因應氣候變遷之調適能力」項目納入自評。

因此，建議公路主管機關參酌本指引之內容，將氣候變遷調適工作項目納入重要規劃案之標規內容，並適度編列所需經費，將氣候變遷調適作為逐步導入公路系統之規劃作業中。

2. 累積本土調適經驗與知識，研擬國內公路調適作業手冊及開發所需工具

由國外以及國內其他部門推動氣候變遷調適之經驗可知，氣候變遷調適之風險評估及選項做法多元，本期計畫僅為簡易之公路案例演示而非完整公路調適案例實證研究，建議逐步累積本土調適經驗與知識，從而發展出符合國情的標準作業程序及開發國內適用之評估工具。

3. 配合未來科研協作平臺，針對運輸系統另案建立氣候資訊服務平臺，以支持運輸系統（含公路系統）之氣候變遷調適工作

由於氣候變遷推估乃基於全球環流模式，重視大尺度的氣候變化趨勢「情境推演」，運輸系統（含公路系統）規劃則旨在某一特定地理範圍「提供一項穩定且可靠的運輸基礎設施」，從國內外文獻可知，基於領域文化以及重點之差異，目前氣候資料服務與公路規劃調適資料需求之間仍存在相當落差，諸如資料時空精度、對於未來不確定性的認知與處理能力、資料更新即時性等皆屬常見課題；此外，以公路系統規劃而言，部分資料需先經其他主管機關加值處理之後，例如降雨量經水利主管機關處理為淹水高度等，方始能為公路規劃設計所用。

因此，現階段運輸系統（含公路系統）辦理氣候變遷調適的過程中勢必面臨各類型的資料斷鏈問題，建議處理方式如下：

(1) 短期：務實以「實際可取得的最佳資料」替代無法取得的資料，例如，參考區位毗鄰的同類型規劃資料、相關的研究報告、利用其他參數進行推估等，若有此類情形建議附註說明清楚以取得認同；儘量善用指引中所提及的組成「調適工作小組」的機制，選擇妥適的小組成員以適度彌補規劃團隊的知識及資料的不足，例如涉及中央管河川及區域排水議題則邀請水利署擔任小組成員等。

(2) 中、長期：考量運輸系統影響民生經濟甚鉅，且不同運輸次系統的規劃設計、建設施工、營運、維護管理等各階段工作對於氣候資訊的需求不同，建議考慮針對運輸系統另案建立氣候資訊平臺，介接國科會及環境部資訊，為運輸部門各機關客製化提供各該業務所需之氣候資訊服務。

4. 定期或不定期滾動檢討本指引

由於目前環境部刻正研訂「氣候法施行細則」及「氣候變遷風險評估作業準則」，後續擬供各部會做為擬定符合自身使用的指引參考，國科會也持續產製並公開提供給國內調適工作運用之氣候情境資料做為氣候風險評估之依據。因此，未來本指引內容仍待配合完善中的法規制度以及氣候變遷科研成果滾動檢討，俾指引內容與時俱進。

第五章 公路規劃階段調適示範案例演示

本章旨在透過國內公路示範案例驗證公路系統規劃作業流程融入三階段調適工項之實務操作可行性，並召開專家工作坊蒐整公路機關及公路專家意見，據以滾動檢討公路調適指引，同時嘗試研擬一可供國內參考之公路系統規劃階段調適操作流程示範案例。

以下內容分為 3 節，各節之主題依序為 5.1 節示範案例演示作業流程；5.2 節示範案例演示成果；最後，依據示範案例演示操作經驗，於 5.3 節綜理重要發現。

5.1 示範案例演示作業流程

本計畫有關示範案例演示之作業過程如圖 5.1-1，各項重點說明如下：

1. 示範案例選定

首先選定適合做為公路調適指引演示之國內公路示範案例，為避免示範案例演示影響工程專案原定期程，因此初步篩選已完成規劃階段（包含可行性研究、綜合規劃）之公路規劃專案，且以位於易受氣候衝擊地區為原則，如沿海地區等，較能顯現氣候變遷風險評估結果之差異，經與公路局討論研議，最終確認以「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」做為示範案例進行演示。

2. 示範案例相關資源盤點

針對示範案例盤點目前資源現況，包含相關資料、相關計畫，相關資料係透過各機關單位、網路公開平臺盤點所能掌握之基礎資料及圖資、氣候相關資料等，初步評估資料現況能否滿足工作所需；蒐集之相關計畫包含西濱快速公路曾文溪橋段新建工程綜合規劃報告書、曾文溪水系曾文溪治理規劃檢討報告、曾文溪流域整體改善與調適規劃報告等。

此外，盤點與示範案例相關之利害關係人，組成調適工作小組以利後續召開專家工作坊，調適工作小組成員包含國家災害防救科技中心、經濟部水利署第六河川分署、公路局、台灣世曦工程顧問公司、易緯工程顧問股份有限公司等。

3. 示範案例實作

本計畫實際操作氣候變遷相關資料蒐集與分析、初步評估影響調適能力氣候風險因素以及氣候變遷風險評估等調適三階段步驟，以驗證指引操作流程之可行性，並將實際操作過程中所面臨之問題或需透過調適工作小組討論確認之議題盤點蒐整。

4. 專家工作坊綜合討論

透過專家工作坊與調適工作小組進行討論，專家工作坊內容包含示範案例調適三階段步驟演示、執行氣候變遷風險評估以及針對團隊前述蒐整之議題進行討論，透過專家工作坊蒐整調適工作小組成員意見，以完善示範案例並滾動檢討公路調適指引。

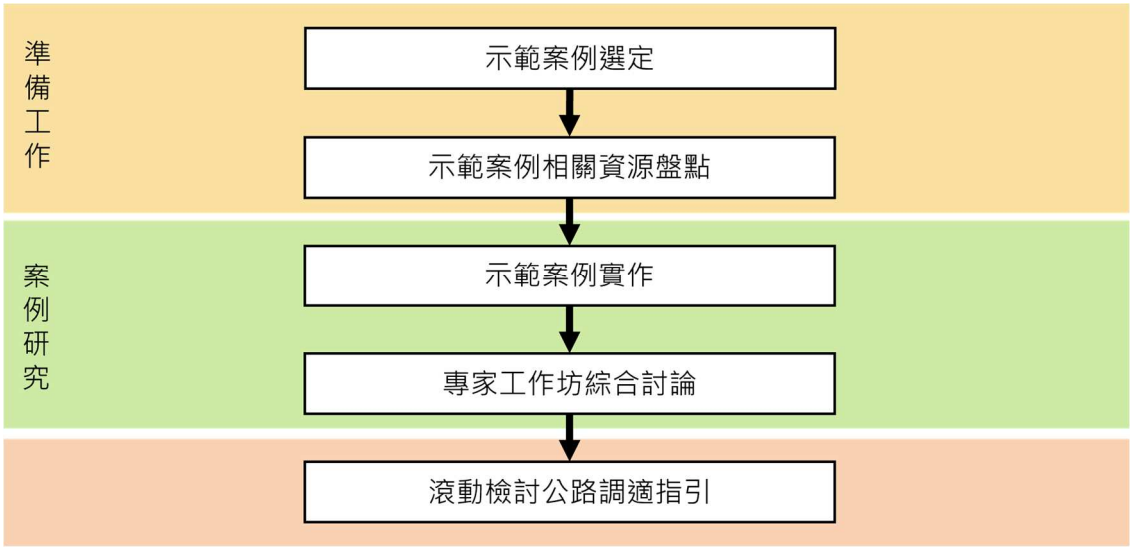


圖 5.1-1 示範案例演示作業流程圖

5.2 示範案例演示成果

本示範案例屬於演示操作性質，針對已完成規劃作業（包含可行性研究與綜合規劃）之「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」，依照本指引調適作業程序進行操作演示，演示過程及結果不影響原計畫案推動，先予敘明。

1. 案例概述

本案例之計畫道路位於臺南市七股區、安南區交界，由省道西部濱海快速公路最南端銜接臺南市 2-7 號道路（台江大道），為跨越曾文溪之橋梁新建工程，其規劃路線長度約 3,381 公尺，屬於連絡道性質，預計完工後將建構完整的臺南市高快速公路交通路網，提供臺南市都會區、臺南科技工業區、安平港等完善的城際運輸聯外服務（參見圖 5.2-1）。

本案例為已施工中的建設計畫，其推動過程如下所述：

(1) 可行性評估（更新評估）：105 年 9 月 30 日行政院核定。

(2) 綜合規劃：108 年 5 月 13 日交通部公路局原則同意。

(3) 環境影響差異分析：108 年 5 月 29 日奉環境部環境影響評估審查委員會審核修正同意。

(4) 建設計畫：109 年 5 月 1 日行政院核定。

(5) 建設計畫（第 1 次修正）：111 年 8 月 19 日行政院核定。

(6) 工程施工：111 年 12 月 4 日開工，預計 117 年 5 月 25 日完工。



圖 5.2-1 案例區位圖

案例範圍鄰近台江國家公園，行經曾文溪口濕地之一般區域，距離出海口約 5 公里，需考量海岸類型災害之衝擊。此外，為提高道路興建可及性與服務效能，配合於十份交流道設置南入北出 2 匝道（市道 173 線南側），方便附近聚落居民由平面道路銜接上曾文溪橋，並於跨越青草崙堤防後，與臺南市 2-7 號道路採平面銜接（參見圖 5.2-2）。

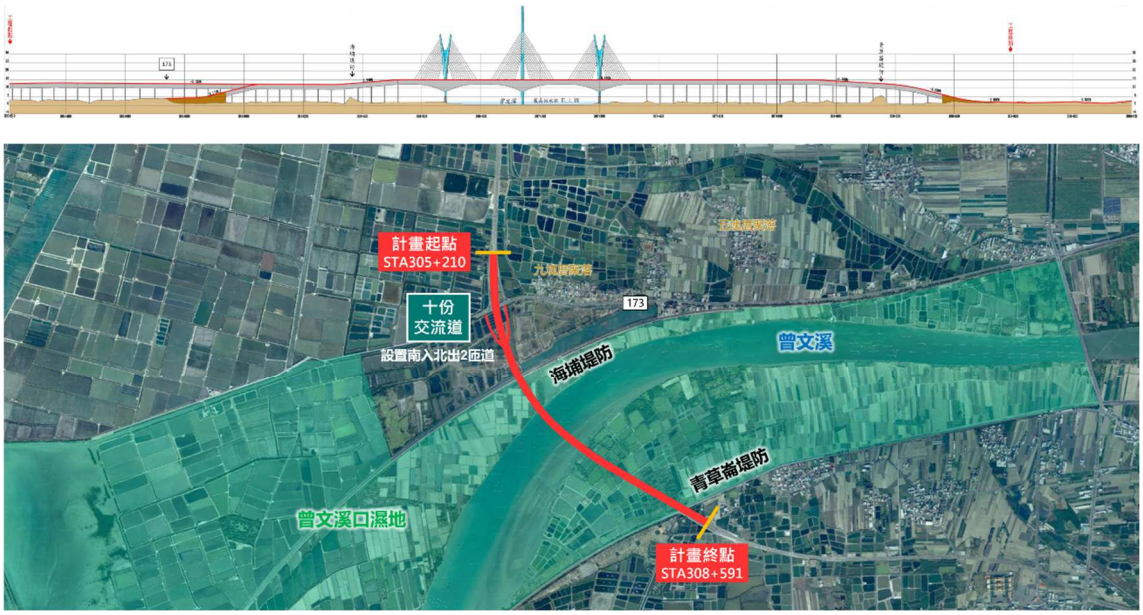


圖 5.2-2 案例路線示意圖

本計畫以案例計畫之「規劃階段（可行性評估與綜合規劃）」之作業內容為基礎，依據指引指導實作融入氣候變遷調適作業之操作方式。

2. 前置作業

根據指引指導，氣候變遷風險評估之前置作業包含界定評估背景、訂定目標與預期成果、組成調適工作小組、確定評估範疇與方法、設定時間範疇、多方蒐集相關資訊、制定執行計畫、確保評估過程的透明與設計妥善的參與機制等工作項目，由於本案例屬於演示操作性質，因此未制定後續利害關係人參與機制，以下針對其他各項前置作業簡要說明。

(1) 界定評估背景

本案例以「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」為例，分析案例範圍所面臨之海岸、河川與淹水等相關災害，在未來氣候變遷情境下可能產生之衝擊，並依照公路系統規劃階段氣候變遷調適指引之三階段導入調適作業程序，執行氣候變遷風險評估與研擬調適選項。

(2) 訂定評估目標與預期成果

本案例公路系統根據《公路路線設計規範》，系統分類為省道快速公路，公路等級為三級路，中央主管機關交通部公路局定位其服務功能包含觀光、運輸及高速公路備災等 3 種功能，由於非屬於生命線，因此設定公路調適目標為「允許暫時失能」而無須於設計時排除所有風險，但於失能修復期間應有緊急應對措施（如規劃替代路線），並可於短時間內恢復通行功能。

本案例依照調適指引之調適作業程序進行氣候變遷風險評估，並針對中高風險路段、組件提出調適策略與措施，預期最終將根據調適指引所述之調適作業基本要求，產出氣候變遷風險評估表。

(3) 組成調適工作小組

本案例之調適工作小組成員，除原工程規劃團隊之主管機關及規劃顧問公司外，另包含所涉環境區位主管機關、氣候相關資料提供機關等，小組成員如下：

- 公路設施權責機關：交通部公路局、南區公路新建工程分局
- 河川流域治理機關：經濟部水利署第六河川分署

- 氣候資料提供機關：國家災害防救科技中心
- 公路規劃顧問公司：台灣世曦工程顧問公司、易緯工程顧問公司
- 氣候變遷調適顧問團隊：鼎漢國際工程顧問公司

(4) 確定評估範疇與評估方法

評估範疇之空間範圍部分，本案例以西濱快速公路台 61 線末端爲起點，跨越曾文溪銜接台江大道為終點進行橋梁佈設，然而本案例公路橋梁屬於跨河橋梁，因此在評估曾文溪於氣候變遷情境下之未來河川水文資訊時，應針對整體曾文溪流域集水區之降雨變化進行資料蒐集分析。

評估之公路系統組件部分，可分為平面連絡道與高架橋梁（引橋段、邊橋段、主橋段），高架橋梁可再細分為橋面、排水、橋台、路堤、橋墩及基礎等。

氣候變遷風險評估方法部分，由於國內尚缺乏氣候變遷風險評估相關實務操作經驗，因此本案例採用半定量風險評估方法，以召開專家工作坊方式進行議題討論，最終執行風險評分作業，專家工作坊可以針對尚有疑義之調適相關議題進行討論，蒐整本土經驗，亦可在資料相對不足的情況下進行氣候變遷風險評估，適合國內公路領域現階段推動氣候變遷調適。

(5) 設定時間範疇

設定評估時間範疇部分，由於本案例之計畫道路屬於重要公路橋梁，依據《公路橋梁設計規範》其設計年限不小於 100 年，另因考量目前公開之氣候推估資料多僅推估至本世紀末，故以規劃年（2016 年）至本世紀末（2100 年）為評估年期。

(6) 蒐集相關資訊

由於本案例係針對已完成之公路規劃專案進行案例演示，因此在相關資訊蒐集部分除了河川流域治理計畫、調適規劃報告外，亦針對專案之綜合規劃、建設計畫等規劃報告進行蒐整，以利後續進行比較分析，本案例蒐集之相關報告書如下：

- 西濱快速公路曾文溪橋段新建工程綜合規劃（108 年）
- 西濱快速公路曾文溪橋段新建工程環境影響差異分析（108 年）

- 西濱快速公路曾文溪橋段新建工程建設計畫（第 1 次修正）（111 年）
- 曾文溪水系曾文溪治理規劃檢討（103 年）
- 曾文溪流域整體改善與調適規劃（1/2）（111 年）
- 曾文溪流域整體改善與調適規劃（2/2）（112 年）

(7) 制定執行計畫

本案例擬透過專家工作坊方式，探討調適操作過程需討論之相關議題。並於下階段實際試操作氣候變遷風險評估，專家工作坊已於 112 年 10 月 11 日（四）召開，專家工作坊之討論議題如下：

- 確認氣候變遷相關資料蒐集與分析之完備性
- 辨識專案面臨之氣候壓力與衝擊，並指認相關氣候風險因素
- 研議適用於專案之風險評估指標、閾值與權重
- 執行氣候變遷風險評估作業
- 中高風險區域之調適策略與措施



圖 5.2-3 專家工作坊照片

3. 蒐集與分析氣候變遷情境與氣候相關資料

根據指引內容，「蒐集與分析氣候變遷情境與氣候相關資料」階段工作項目包含回顧過往氣候形態、未來氣候變遷情境設定與氣候相關資料蒐集與分析三項，以下分別進行說明：

(1) 回顧過往氣候形態

本步驟將依據案例所在環境區位特徵，瞭解過往氣候形態及可能面臨之氣候壓力，初步掌握氣候變遷對案例範圍可能產生的影響。

過往氣候資料蒐集部分,首先針對主要影響公路系統之五大氣候壓力（強降雨、強風、高溫、暴潮/風浪及海平面上升）蒐集所需之歷史氣象觀測資料，接著針對跨河橋梁、鄰近出海口等區位特性，蒐集相關之歷史災害、災害潛勢等資訊（參見表 5.2-1），各項資料說明詳如下述。

表 5.2-1 過往氣候與環境變異資料彙整表

分類		資料名稱	空間尺度	時間尺度	單位	資料來源
氣候壓力	強降雨	年雨量	臺南測站	1971-2021	公釐	TCCIP
			曾文溪流域	1971-2021	公釐	TCCIP
	暴潮/風浪	颱風暴潮高度	臺南沿海	現況(1978-2017)	公尺	TCCIP
		颱風風浪高	臺南沿海	現況(1978-2017)	公尺	TCCIP
	強風	海岸風速	全臺沿海	現況(1978-2017)	公尺/秒	TCCIP
	高溫	年均溫	臺南測站	1971-2021	攝氏	TCCIP
		高溫大於 35°C 日數	臺南測站	1971-2021	天	TCCIP
河川水文		曾文溪河川基礎資訊	河道斷面、河口暴潮位(起算水位)、洪峰流量、流速、河床沖淤變化、計畫洪水位、計畫堤頂高、現況堤頂高、出水高			曾文溪水系曾文溪治理規劃檢討
		歷史河川水位、流量(時/日/月)	國姓橋測站(上游約 4.5km 處)	2011-2022	公尺	經濟部水利署水文資訊網
歷史災害		近 5 年歷史淹水災點	全臺	2018-2022	-	NCDR 3D 災害潛勢地圖
災害潛勢		淹水潛勢圖(650mm/24hr)	臺南/40m 網格	2015	公尺	NCDR 3D 災害潛勢地圖
		暴潮溢淹潛勢圖(50 年重現期)	臺南沿海	2020	公尺	臺南市一級海岸防護計畫
		地層下陷潛勢	臺南市濱海陸地未達 2 公分/年、歷年累計下陷量未達 50 公分之中潛勢界限，故未繪製潛勢圖			臺南市一級海岸防護計畫

資料來源：本計畫彙整。

① 河川基礎資訊

根據「曾文溪水系曾文溪治理規劃檢討」，曾文溪河口暴潮位採用 2.1 公尺作為起算水位，案例計畫路線約位於曾文溪河川斷面 11~斷面 12 位置處，所在河段為下降沖刷河段，造成沖刷主要因素為流

路固定深槽下刷嚴重，重大洪水事件加重主深槽下切，其次為海岸線退縮導致河口段平均河床高程下降顯著，建置橋梁時應注意河床沖刷問題。斷面 12 現況堤頂與計畫堤頂差距 0.5 公尺以上，雖無須立即改建，惟日後橋梁新建或改建時，應配合改建至計畫堤頂高以上，其他相關資訊參見附表 2。

表 5.2-2 河川斷面基礎資訊彙整表

斷面	累距 (m)	洪峰流量 (CMS)	水面寬 (m)	通水面積 (m^2)	流速 (m/s)	河床沖淤變化 (92-98) (m)	計畫洪水位 (m)	計畫堤頂高 (m)	左岸(青草崙)檢討 (m)		右岸(海埔)檢討 (m)	
									現況堤頂高	出水高	現況堤頂高	出水高
11	4792	13200	1581	7149	1.85	-0.9	4.08	6.69	6.52	2.44	6.58	2.50
12	5290	13200	1582	6578	2.01	-0.85	4.22	6.82	6.09	1.87	6.73	2.51

資料來源：曾文溪水系曾文溪治理規劃檢討，經濟部水利署，103 年 7 月。

② 歷史災害與災害潛勢

案例範圍周邊近 5 年歷史淹水災點與 650mm/24hr 淹水潛勢呈現相近的分布趨勢，皆集中於北側大塭寮排水及南側台江大道周邊魚塭，北側淹水潛勢深度約 0.3-0.5 公尺、南側約 0.3-1.0 公尺，50 年重現期暴潮溢淹潛勢則集中於案例範圍南北兩側靠海側，溢淹深度約 0-1.5 公尺。由於本案例之計畫道路於南北兩側皆預計增設與平面道路連接之匝道，因此降雨溢淹及暴潮溢淹可能會對計畫道路產生影響（參見圖 5.2-4）。



歷史淹水災點　　淹水潛勢圖　　暴潮溢淹潛勢圖

圖 5.2-4 歷史災害與災害潛勢圖

③ 降雨

臺南測站過去 50 年年雨量約介於 1,000-2,500mm，曾文溪流域約介於 1,500-3,000mm，近 20 年有年雨量變化幅度增加趨勢（參見圖 5.2-5）。

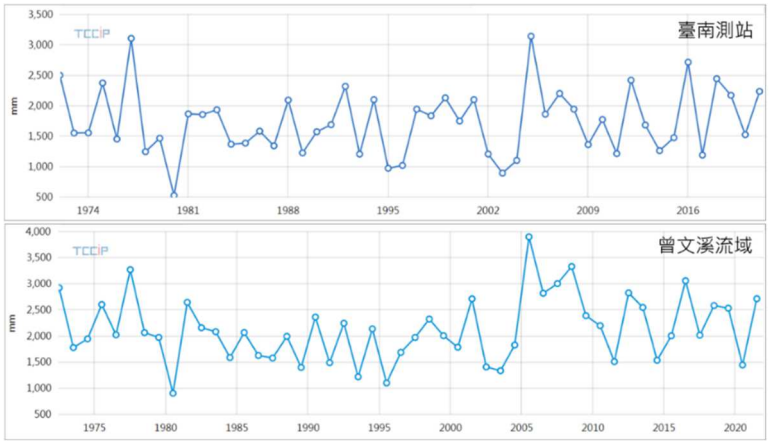


圖 5.2-5 過去 50 年年累積雨量觀測值

④ 溫度

臺南測站基年（1981-2010 年）年均溫為 24.3˚C，過去 50 年年均溫介於 23-25˚C，近 10 年有逐漸增加趨勢，約增加 0.5-1˚C（參見圖 5.2-6）；高溫日數部分，過去 50 年高溫大於 35˚C 日數無明顯變化趨勢（參見圖 5.2-7）。

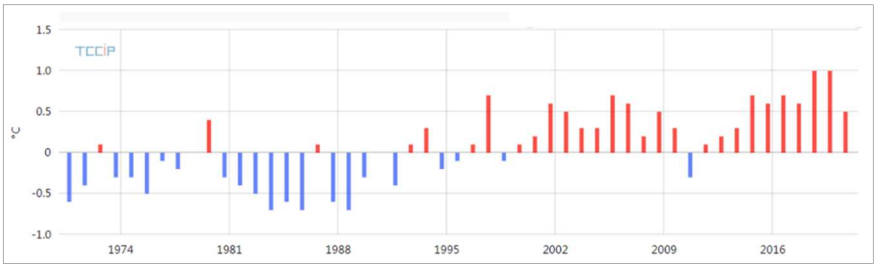


圖 5.2-6 臺南測站過去 50 年年均溫觀測距平值

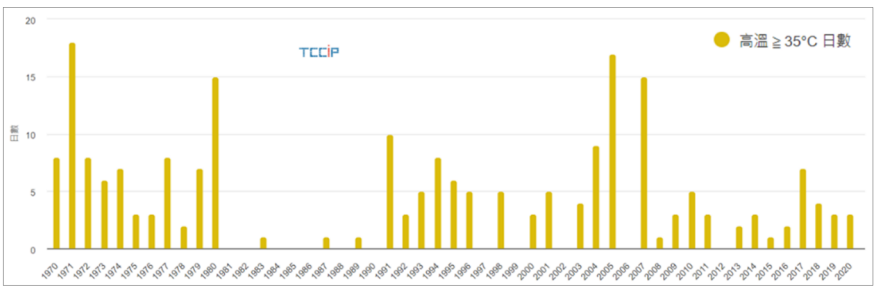


圖 5.2-7 臺南測站過去 50 年高溫大於 35˚C 日數

⑤ 颱風風速、暴潮與風浪

NCDR 根據 1978-2017 年 125 場颱風模擬結果，分析現況條件下之海面風速、暴潮高度及風浪高度，臺南沿海海面風速為低於 17.1 公尺/秒之蒲福風級極低風速；暴潮高度為 0.3-0.6 公尺之低衝擊程度；風浪高度為低於 3 公尺之極低衝擊程度（參見圖 5.2-8）。

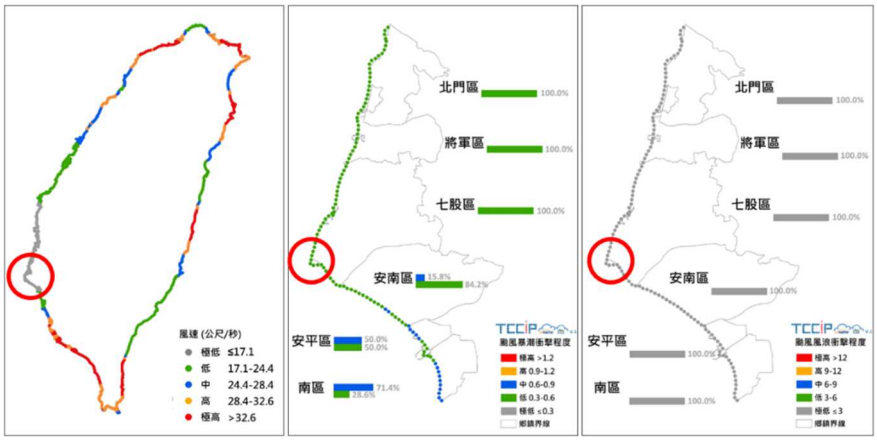


圖 5.2-8 臺南沿海颱風風速、暴潮與風浪現況

(2) 未來氣候變遷情境設定

本案例評估年期為規劃年（2016 年）至本世紀末（2100 年），參考環境部公布之國家調適應用情境，以世紀末最劣情境升溫 4˚C（減碳失敗）作為本案例之未來氣候變遷情境設定，另由於部分氣候推估資料仍為 AR5 資料格式，故針對尚未推出 AR6 資料格式之氣候推估資料，以世紀末最劣情境 RCP8.5（減碳失敗）作為情境設定。

(3) 氣候相關資料蒐集與分析

根據主要影響公路系統之五大氣候壓力（強降雨、強風、高溫、暴潮/風浪及海平面上升）所蒐集之歷史氣象觀測資料、歷史災害及災害潛勢，將據其資料類型蒐集未來氣候變遷推估資料（參見表 5.2-3），其中部分推估資料仍為 AR5 資料格式，且部分僅推估至世紀中，未來 NCDR 將陸續產製公開上架，各資料說明詳如下述。

表 5.2-3 未來氣候變遷推估資料彙整表

分類	資料名稱	空間尺度	時間尺度	單位	資料來源
強降雨	極端降雨(650mm/24hr)發生機率	臺南/40m 網格	1.5˚C/2˚C/4˚C	危害度等級	Dr.A
	年最大日降雨最大值變化率	全臺/5km 網格	1.5˚C/2˚C/4˚C	%	TCCIP
	累積雨量變化率(6、12、24 小時延時)	曾文溪流域	RCP8.5 世紀中	%	TCCIP
暴潮/風浪	颱風暴潮高度	臺南沿海	RCP8.5 世紀末	公尺	TCCIP
	颱風風浪高	臺南沿海	RCP8.5 世紀末	公尺	TCCIP
海平面上升	海平面上升溢淹圖	臺南沿海	2˚C/4˚C	公尺	NCDR 從 IPCC AR6 報告看氣候變遷衝擊與調適簡報(2022.03.25)
強風	海岸風速	全臺沿海	RCP8.5 世紀末	公尺/秒	TCCIP
高溫	年最大日高溫變化量	全臺/5km 網格	1.5˚C/2˚C/4˚C	攝氏	TCCIP
	極端高溫持續指數(HWDI)	全臺/5km 網格	1.5˚C/2˚C/4˚C	天	TCCIP

資料來源：本計畫彙整。

① 強降雨

極端降雨事件（650mm/24hr）發生機率為針對 CMIP5 氣候情境資料之網格日資料中，日雨量超過 650 公釐之年降雨量最大值氣候事件進行頻率分析，並與淹水潛勢範圍套疊，因此資料空間尺度為 40 公尺網格，並以危害度等級方式呈現，危害度等級越大表示極端降雨發生機率越大、頻率越高，可反映降雨頻率之未來變化情形。結果顯示，案例範圍北側大塭寮排水及南側台江大道周邊於世紀末增溫 4˚C 情境下，皆呈現第一級危害度（參見圖 5.2-9）。



圖 5.2-9 極端降雨事件（650mm/24hr）發生機率（危害度等級）

年最大日降雨量為一年當中降雨量最高的日降雨量，相當於一年當中極端降雨事件之降雨強度，其變化率可反映降雨強度之未來變化情形，資料空間尺度為 5 公里網格。結果顯示，案例範圍所在區域於世紀末增溫 4˚C 情境下，年最大日降雨量增加約 28.5%，可見極端降雨強度將大幅提升（參見圖 5.2-10）。

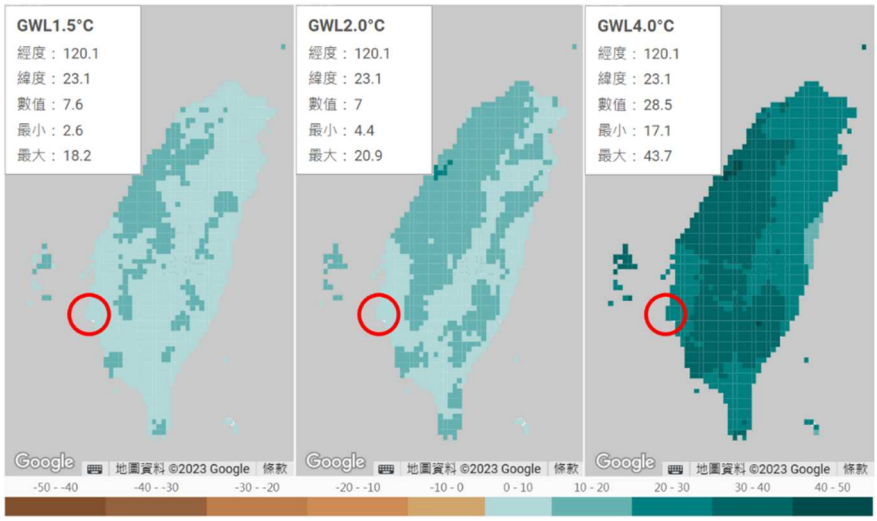


圖 5.2-10 年最大日降雨量變化率

為分析極端降雨對於曾文溪流域洪峰流量及洪峰水位之影響，故參考曾文溪流域集水區前 30%事件 24 小時、12 小時、6 小時延時累積雨量變化率推估資料，此資料目前僅提供至世紀中推估。結果顯示，24 小時延時雨量約增加 5%、12 小時延時約增加 16%、6 小時延時約增加 20%，可見降雨延時越短降雨強度增加幅度越大之情形（參見圖 5.2-11）。

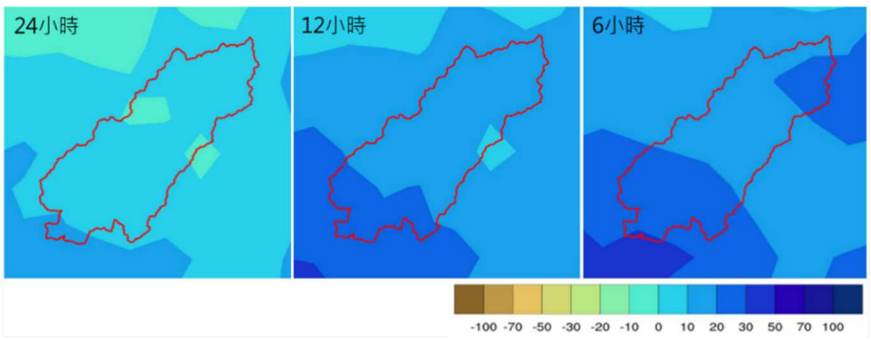


圖 5.2-11 曾文溪流域集水區世紀中前 30%事件各延時累積雨量變化率

② 高溫

年最大日高溫為一年當中日高溫的最大值，資料空間尺度為 5 公里網格。結果顯示，案例範圍所在區域於世紀末增溫 4˚C 情境下，年最大日高溫增溫幅度約 2.6˚C（參見圖 5.2-12）。

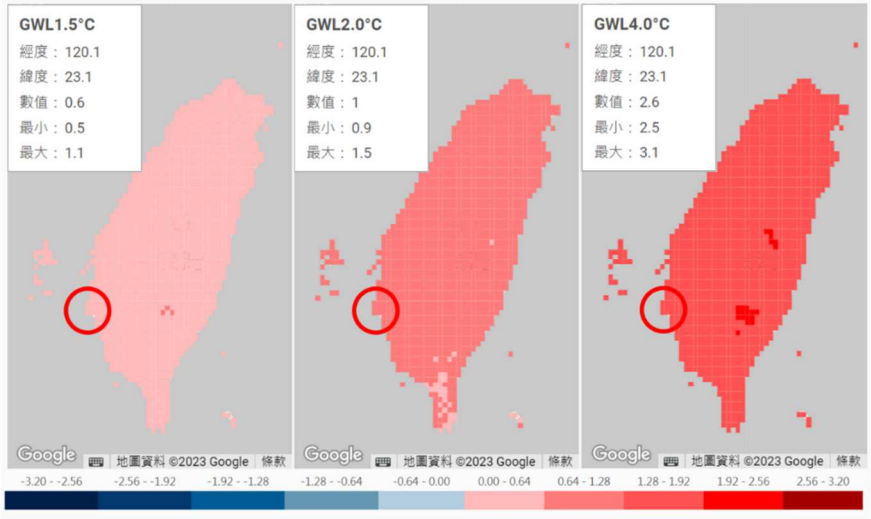


圖 5.2-12 年最大日高溫變化量

極端高溫持續指數 HWDI（Heat wave duration index）為一年之中連續 3 天以上日最高溫高於基期第 95 百分位數之事件總天數，資料空間尺度為 5 公里網格。結果顯示，案例範圍所在區域於世紀末增溫 4˚C 情境下，極端高溫日數將達到 116.6 天，表示一年當中約有 1/3 天數處在極端高溫之下（參見圖 5.2-13）。

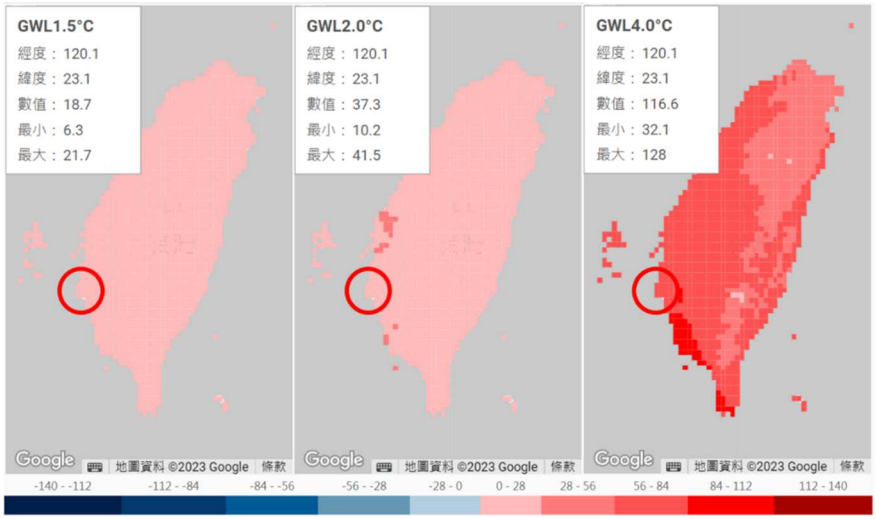
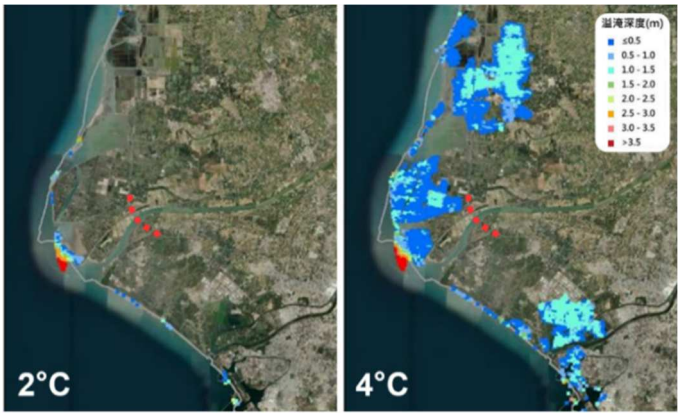


圖 5.2-13 極端高溫持續指數（HWDI）變化量

③ 海平面上升

根據 IPCC AR6 模式模擬結果，在升溫 2˚C 及 4˚C 的情境之下，可能導致臺灣周邊海域海平面上升達 0.5 及 1.2 公尺，在 4˚C 情境下，案例範圍北側可能發生約 0.5 公尺溢淹情形（參見圖 5.2-14）。臺南市海平面上升溢淹推估圖參考自 NCDR 公開簡報資料，全臺灣海平面上升推估圖則預計於 2023 年底推出。



資料來源：從 IPCC AR6 報告看氣候變遷衝擊與調適簡報，國家災害防救科技中心，2022 年 03 月 25 日。

圖 5.2-14 海平面上升溢淹推估圖

④ 颱風風速、暴潮與風浪

根據 1978-2017 年 125 場颱風模擬結果，世紀末 RCP8.5 情境下之海面風速、暴潮高度及風浪高度，臺南沿海海面風速維持低於 17.1

公尺/秒之蒲福風級極低風速；暴潮高度有部分提升至 0.6-0.9 公尺之中衝擊程度；風浪高度則維持為低於 3 公尺之極低衝擊程度（參見圖 5.2-15）。

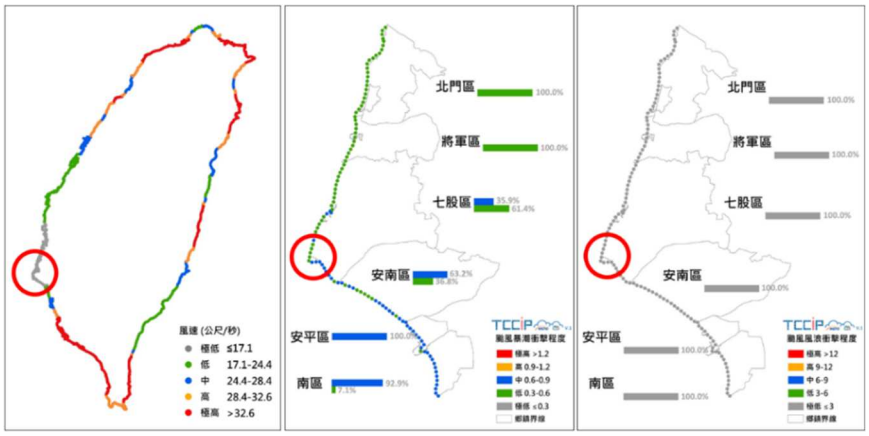


圖 5.2-15 臺南沿海颱風風速、暴潮與風浪世紀末推估

綜上所述，主要影響公路系統之五大氣候壓力因素，又以強降雨、暴潮及海平面上升三項氣候壓力，在氣候變遷情境下對於案例範圍之影響較鉅，造成之衝擊主要為平面道路溢淹及河川流速增強淘刷橋基河床，本階段僅初步研提相關潛在因應對策，後續將針對此三項氣候壓力進一步評估（參見表 5.2-4）。

強風、風浪雖為影響公路規劃之重要氣候壓力因素，然而在現況及世紀末皆屬於極低等級之衝擊程度，顯示在氣候變遷情況下，現況與未來變化幅度差異不大，且在現況條件下，於原有公路規劃過程中即應有所考量，因此本此暫不針對強風、風浪進行後續評估；高溫部分，因高溫主要影響層面為鋪面材料軟化、結構鋼材熱膨脹，初步研判升溫幅度及高溫持續程度不致對本案例之計畫道路造成重大影響，且可透過調整鋪面材料、預留伸縮縫等方式處置，研判影響較為輕微，因此本次亦暫不針對高溫進行後續評估。

此外，針對強降雨所造成之河川氣候變遷衝擊部分，由於目前尚缺乏透過流域集水區累積雨量變化率推估資料產製出之未來洪峰流量及洪峰水位等水文資訊，為目前國內氣候變遷推估資料斷鏈之處，因此本案例僅就現況河川水文資訊與曾文溪流域累積雨量變化率推估資料，透過調適工作小組進行初步研判，尚存在一定程度不確定性。

表 5.2-4 曾文溪橋新建計畫氣候變遷資料蒐集分析資訊綜理表

氣候壓力	可能的衝擊	易受衝擊區位、範圍	風險研判	影響程度	潛在因應對策
強降雨	1.地表逕流造成平面道路溢淹（內水） 2.河川越堤造成平面道路溢淹（外水） 3.強降雨造成河川流域達到洪峰，挾帶大量砂石撞擊橋墩，並淘刷橋基河床（流域）	1.地勢低窪地區 2.河道範圍（視流域土砂安定情況，擴大評估範圍至上游流域集水區）	1.道路淹水阻斷通行 2.橋台、引道受損阻斷交通 3.橋基損毀/裸露影響橋梁穩定性	嚴重	1.在可容許中斷時間內，擬妥替代方案，包含搭設便橋、規劃替代道路、預警性封閉等 2.加強路基/橋基保護工 3.減少落墩 4.加長深基礎
暴潮	海岸暴潮造成平面道路溢淹	沿海地區	道路淹水阻斷通行	可能嚴重	
海平面上升	海平面上升造成海岸線退縮，平面道路溢淹	沿海地區	道路淹水阻斷通行	可能嚴重	

資料來源：本計畫彙整。

4. 初步評估影響調適能力的氣候風險因素

根據指引內容，「初步評估影響調適能力的氣候風險因素」階段工作項目包含指認氣候風險因素與初步評估影響調適能力的氣候風險因素兩項，以下分別進行說明：

(1) 指認氣候風險因素

進行後續氣候變遷風險評估前，應指認影響本案例氣候變遷風險之因素，風險因素主要由危害、暴露、脆弱三項因素組成，並針對其風險與可能的調適選項，根據路網/廊、路段尺度進行說明，再綜整為氣候衝擊鏈（參見圖 5.2-16），以下針對氣候衝擊鏈各項內容進行說明：

① 危害因素：與氣候變遷有關的情況、事件或趨勢，可能對公路系統造成衝擊。根據前階段之綜整分析，本案例以強降雨、暴潮、海平面上升三項氣候壓力因素作為危害因素。

② 暴露因素：公路系統位於易受衝擊地區的範圍及程度。本案例以跨道路系統交接處表示道路易受衝擊的特性，主要因高架橋梁與平面道路交接處，容易因道路淹水而影響上下匝道車輛通行；另

外以地方及城際運輸重要聯外道路表示道路失能可能造成的影響等，分別服務了五塊厝、九塊厝等在地聚落及安平港、臺南科技工業區、臺南都會區。

③ 脆弱因素：公路系統本身容易受衝擊、缺乏應對和適應的範圍及程度。本案例以淹水潛勢區、暴潮溢淹潛勢區、河川區域等災害敏感地區作為脆弱因素。

④ 調適選項：因應氣候衝擊可採用的調適選項，例如保護、調整、搬遷、增加備援、管理及維護。調適選項的擬定首先需考量道路功能定位，由於本案例公路調適目標為「允許暫時失能」，因此在調適選項擬定上應特別著重於在失能修復期間可採行之替代方案，強調管理面的調適選項。針對路網/路廊尺度之氣候衝擊，主要來自較大範圍之周邊區域，如海平面上升及暴潮，因此調適選項須聯同周邊路段共同規劃替代道路、施行預警性封閉；針對路段尺度之氣候衝擊，主要針對高架橋梁及平面道路本身，因此調適選項亦多與橋梁設計、配置與保護設施相關。

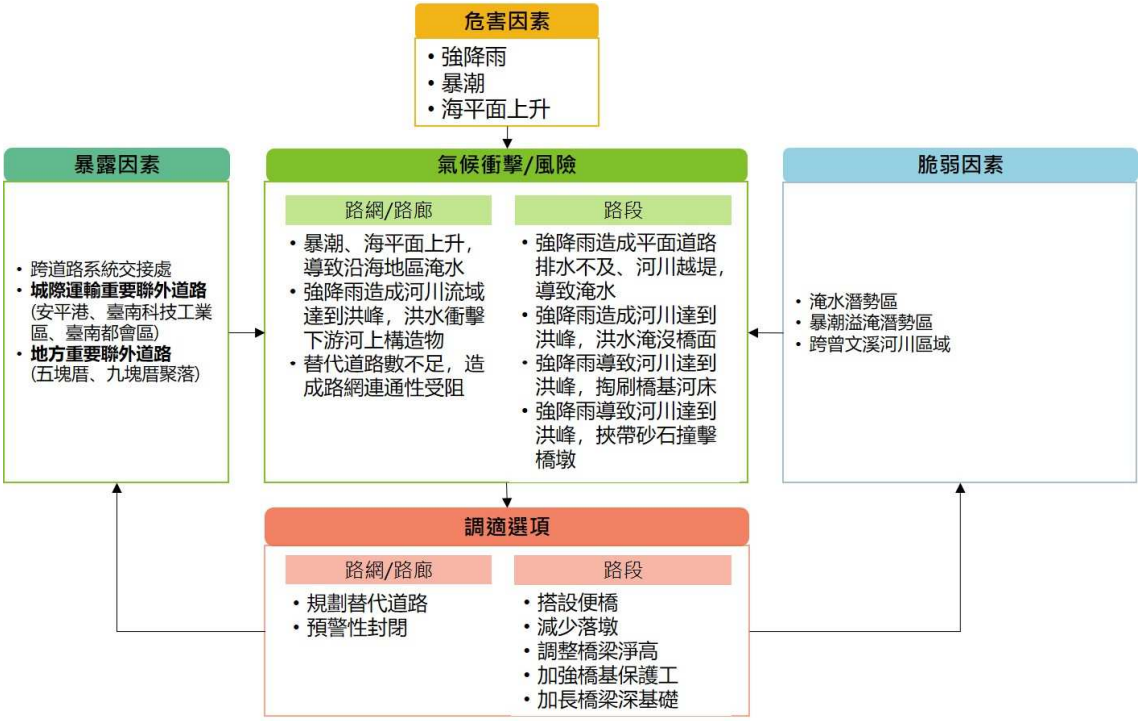


圖 5.2-16 氣候衝擊鏈

(2) 初步評估影響調適能力的氣候風險因素

根據上述氣候衝擊鏈分析結果，依照暴露因素所在區位不同，將案例範圍路廊依照兩側堤防切分為三段，並將脆弱因素、潛在衝擊及調適策略與之對應，其中南北兩側皆位於淹水潛勢區及暴潮溢淹潛勢區，且北側區域有海平面上升溢淹可能，主要衝擊為平面道路淹水；中間區域段位於河川區域範圍內，主要衝擊為橋梁受河川洪峰影響，造成洪水溢淹橋面、淘刷橋基河床、挾帶砂石撞擊橋墩等（參見表 5.2-5）。

本案例採行專家工作坊進行半定量的潛在氣候風險初步評估。為進行風險評級，本案例採用風險的廣泛定義為發生事件的可能性與嚴重性的組合（乘積），初步選取本案的可能性與嚴重性之參考指標進行風險評估。可能性可區分為氣候壓力發生之可能性與氣候衝擊發生之可能性，指標方面參考 NCDR 產製之極端降雨事件發生機率（危害度等級）；嚴重性可區分為氣候衝擊大小與對社會經濟造成之後果大小，氣候衝擊大小指標以淹水深度代表，需綜合考量淹水潛勢圖、暴潮溢淹潛勢圖、海平面上升溢淹推估圖、極端降雨推估變化率及暴潮高度推估變化量等，進行淹水深度研判，對社會經濟造成之後果大小指標則以交通量為代表，參考綜合規劃報告書所做之交通量預測進行分級評定，各指標之分級閾值皆參考自可能性與嚴重性參考基準表（參見表 5.2-6）。

各指標完成分級評定後，針對單一面向有超過一個指標以上者應進行加權計算，如本案例於嚴重性包含淹水深度及交通量兩項指標，本案例初步以算數平均法進行加權計算評分，最後再透過可能性與嚴重性矩陣相乘方式計算風險等級（參見表 5.2-7），並計算各專家評級結果之平均值，或可透過討論共識決之方式評定最終風險評級，建議未來其他專案可依照各自需求，自行討論決定專案採用之評估指標、分級閾值及權重計算方式等。

根據專家風險評級結果顯示，案例範圍全區皆為中度風險等級，因此全區皆需接續進行第三階段氣候變遷風險評估作業。此外，由於目前尚缺乏透過流域集水區累積雨量變化率推估資料產製出之未來洪峰流量及洪峰水位等水文資訊，因此針對中間區域段河川區域之氣候變遷風險評估，僅為透過調適工作小組，就現況河川水文資訊與曾文溪流域累積雨量變化率推估資料所做之初步研判，尚存在一定程度之不確定性，後續待有關單

位產製出未來洪峰流量及洪峰水位等水文資訊後,可再進行更詳細之風險評估。

表 5.2-5 曾文溪橋路廊潛在氣候變遷風險說明表

區位	危害因素	暴露因素	脆弱因素	潛在衝擊說明	可能性(5 級)	嚴重性(5 級)	風險評級	調適策略
計畫起點至海埔堤防	1.強降雨 2.暴潮 3.海平面上升	1.跨道路系統交接處 2.城際運輸重要聯外道路 3.地方重要聯外道路	1. 淹水潛勢區 2. 暴潮溢淹潛勢區	強降雨、暴潮、海平面上升造成平面道路淹水	2.25	2.5	5.625 (中)	1.災時避免通行 2.規劃替代道路
海埔堤防至青草崙堤防		城際運輸重要聯外道路		強降雨造成河川達到洪峰，洪水溢淹橋面、淘刷橋基河床、挾帶砂石撞擊橋墩	2.75	3	8.25 (中)	1.搭設便橋 2.災時避免通行 3.規劃替代道路 4.減少落墩 5.調整橋梁淨高 6.加強橋基保護工 7.加長橋梁深基礎
青草崙堤防至計畫終點	1.強降雨 2.暴潮	1.跨道路系統交接處 2.城際運輸重要聯外道路 3.地方重要聯外道路		強降雨、暴潮造成平面道路淹水	2	2.5	5 (中)	1.災時避免通行 2.規劃替代道路

資料來源：本計畫彙整。

表 5.2-6 可能性與嚴重性參考基準表

半定量分級	可能性描述	嚴重性描述	參考基準		
			危害度等級	淹水水深(m)	交通量(PCU/時)
1	幾乎不可能	可忽略的	1	0.3-0.5	200 以下
2	不太可能	較低	2	0.5-1.0	200-800
3	可能	中等	3	1.0-2.0	800-1,500
4	極有可能	重大	4	2.0-3.0	1,500-3,000
5	幾可確定	災難性的	5	>3.0	3,000 以上

註：1.淹水水深分級基準參考淹水潛勢圖訂定；交通量分級基準參考交通部運研所鐵公

路風險地圖訂定。

2.根據西濱曾文溪橋段新建工程綜合規劃報告書交通量預測，本案例之計畫道路雙向各車種合計之平日、假日尖峰小時交通量分別為 1473、992PCU/時。

表 5.2-7 風險等級矩陣

風險等級		可能性分級				
		1	2	3	4	5
嚴重性分級	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	8	10
	3	3	6	9	12	15
	4	4	8	12	16	20
	5	5	10	15	20	25

註：1.風險矩陣參考職安署《營造工程風險評估技術指引》。

2.極低風險(1-2)、低度風險(3-4)、中度風險(5-9)、高度風險(10-16)、極高風險(20-25)。

5. 執行氣候變遷風險評估

根據指引內容，「執行氣候變遷風險評估」階段工作項目包含執行氣候變遷風險評估與回報評估結果兩項，以下分別進行說明：

(1) 執行氣候變遷風險評估

根據潛在氣候變遷風險評估結果，針對「中度風險」以上區位賡續進行風險評估作業，並將公路系統組件依照路段尺度再細分，如南北側區域可分為平面連絡道及高架路段，中間區域段橋梁可分為上部結構（橋面、排水）、下部結構（基礎、橋墩）等（參見表 5.2-8）。

根據氣候變遷風險評估結果，除南北側區域之高架路段及高架引橋段不受平面道路淹水衝擊外，其餘區域段皆為中度風險等級，其中又以基礎、橋墩之風險等級較高，應特別注意河川洪峰對於基礎、橋墩造成的衝擊，在後續設計上注意基礎、橋墩之設計與保護，減少落墩，並加強橋基保護工當結構發生損壞情事時，應立即啟動應變方案，如搭設便橋、規劃替代道路等，並進行快速修復。

如同前一階段所述，中間區域段河川區域之氣候變遷風險評估，僅為透過調適工作小組，就現況河川水文資訊與曾文溪流域累積雨量變化率推估資料所做之初步研判，尚存在一定程度之不確定性，後續待有關單位產製出未來洪峰流量及洪峰水位等水文資訊後，可再進行更詳細之風險評估。

(2) 回報評估結果

氣候變遷風險評估作業完成後，應將評估過程、評估結果及殘餘風險確實納入風險管理計畫說明，以提供後續設計、營運、養護單位參考。其中評估過程包含參與團隊成員、風險評估方法、蒐集之氣候相關資料、資產組件清單及團隊會議紀錄等;評估結果應特別針對中度風險以上區位及組件，說明其潛在衝擊與調適策略/措施，針對可能無法透過調適策略/措施處理之潛在衝擊，亦應以殘餘風險方式敘明清楚。

表 5.2-8 曾文溪橋路段氣候變遷風險評估表

區位		危害因素	暴露因素	脆弱因素	潛在衝擊說明	可能性(5 級)	嚴重性(5 級)	風險評級	調適策略/措施
計畫起點至海埔堤防	既有高架路段	1. 強降雨 2.暴潮 3. 海平面上升	-	1. 淹水潛勢區 2. 暴潮溢淹潛勢區	-	-	-	-	-
	既有平面連絡道		1.跨道路系統交接處 2.城際運輸重要聯外道路 3.地方重要聯外道路		強降雨、暴潮、海平面上升造成平面道路淹水	2.25	2.5	5.625 (中)	1.災時避免通行 2.規劃替代道路
	高架引橋段(橋台)		-		-	-	-	-	-
海埔堤防至青崙草堤防	橋面		城際運輸重要聯外道路		強降雨造成河川暴漲淹沒橋面	1.75	3	5.25 (中)	1.災時避免通行 2.調整橋梁淨高
	排水				強降雨造成橋面排水不及產生積水	1.75	3	5.25 (中)	加強橋面排水
	基礎、橋墩				強降雨增加河川流速，淘刷橋基河床、挾帶砂石撞擊橋墩	3	2.75	8.25 (中)	1.搭設便橋 2.災時避免通行 3.規劃替代道路 4.減少落墩 5.加強橋基保護工

區位		危害因素	暴露因素	脆弱因素	潛在衝擊說明	可能性(5 級)	嚴重性(5 級)	風險評級	調適策略/措施
									6.加長橋梁深基礎
青草崙堤防計畫終點	高架引橋段(橋台)	1. 強降雨 2.暴潮	-		-	-	-	-	-
	既有平面連絡道		1.跨道路系統交接處 2.城際運輸重要聯外道路 3.地方重要聯外道路		強降雨、暴潮造成平面道路淹水	2	2.5	5 (中)	1.災時避免通行 2.規劃替代道路

資料來源：本計畫彙整。

6. 調適選項與措施

依據氣候變遷風險評估與回報評估結果所示，曾文溪橋路段之危害因素主要有強降雨、暴潮，以及海平面上升等項，而所造成的潛在衝擊，其態樣主要有下列 4 種：

(1) 強降雨、暴潮、海平面上升造成平面道路淹水；

(2) 強降雨造成河川暴漲淹沒橋面；

(3) 橋面排水不及產生積水；

(4) 強降雨增加河川流速，淘刷橋基河床、挾帶砂石撞擊橋墩；

而為因應前開潛在衝擊的態樣，建議於規劃設計階段與營運階段之調適措施，主要有：

(1) 規劃設計階段

①針對基礎、橋墩方面，可採減少落墩、加強橋基保護工程、加強橋梁深基礎等調適措施。

②針對橋面方面，建議可調整橋梁淨高方式。

③針對排水方面，建議可加強橋面排水予以改善。

(2)營運階段

①致災時宜於引道前端引導車輛避開通行本橋梁。

②針對周邊道路系統，規劃替代道路，以提供城際之運輸需求。

③若仍有通行需求時，可搭設便橋，提供臨時性之通行使用。

5.3 示範案例演示發現

1. 由於國內公路領域氣候變遷調適尚在起步階段，因此本土化氣候相關資料、氣候變遷風險評估工具、經驗等尚不足，然而氣候變遷調適作業勢在必行，因此建議初期先採取半定量風險評估方法，調適工作小組透過召開專家工作坊討論相關議題，並執行氣候變遷風險評估作業，待氣候相關資料及評估工具等逐步成熟之後，再採取定量風險評估方法。
2. 調適工作小組成員建議以主辦機關為召集人，邀集工程規劃團隊、氣候相關資料提供機關及其他所涉環境區位之相關主管機關等組成調適工作小組，且應於調適工作初期成立，以利工程、水利、氣候變遷等各領域專業者能夠充分瞭解專案背景並進行領域知識交流，以完成氣候變遷風險評估作業。
3. 針對氣候相關資料不足、評估範圍較大、風險議題複雜或風險不確定性高之專案，建議可透過專家工作坊多次討論，逐步收斂專案氣候風險議題。有關專家工作坊之討論議題與範疇，建議參考如下：
   (1) 確認氣候變遷相關資料蒐集與分析之完備性。
   (2) 辨識專案面臨之氣候壓力與衝擊，並指認相關氣候風險因素。
   (3) 研議適用於專案之風險評估指標、閾值與權重。
   (4) 執行氣候變遷風險評估作業。
   (5) 中高風險區域之調適策略與措施。

第六章 結論與建議

本計畫蒐集國內外運輸系統氣候變遷調適相關文獻，研析運輸系統調適發展方向及趨勢、蒐集與研析公路系統規劃階段調適指引實務應用案例，並與公路設施管理機關進行溝通交流（訪談或會議等形式）討論強化調適指引應用方向，據以滾動檢討前期研擬之指引內容，供公路系統設施權責機關參考，俾提升公路系統因應氣候變遷之調適能力；同時，為期進一步引導公路設施權責主管機關具體落實應用公路調適指引，辦理公路系統規劃階段調適指引應用教育訓練工作。

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本指引後續推動建議供參考。

6.1 結論

本計畫主要研究成果包含：（1）公路系統規劃階段調適指引實務應用案例蒐集與研析、（2）公路設施管理機關進行溝通交流（訪談或會議等形式）、（3）公路示範案例演示及專家工作坊辦理、（4）滾動檢討公路系統規劃階段調適指引、（5）辦理公路系統規劃階段調適指引應用教育訓練、（6）依文獻回顧、案例蒐集研析及機關溝通交流，滾動檢討公路系統規劃階段調適指引（7）研究成果發表。依序說明如下：

1. 公路系統規劃階段調適指引實務應用案例蒐集與研析

依據公路系統規劃階段調適指引，公路系統規劃流程融入調適概念各階段包含第一階段「氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析」、第二階段「初步評估影響調適能力氣候風險因素」與第三階段「氣候變遷風險評估」。

案例分析以上述三階段架構為基礎，考量「初步評估影響調適能力氣候風險因素」與「氣候變遷風險評估」具同質性，故在案例分析上予以整併，另考量氣候變遷調適選項針對氣候風險提出因應手段，為調適工作中重要一環，綜合上述說明，後續將依照「氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析」、「氣候變遷風險評估」及「因應氣候變遷調適選項」三個主要工作項目為架構進行案例蒐整分類。

(1) 氣候變遷情境選擇案例蒐集

從國外公路調適案例發現，在未來情境之降雨、海平面上升等數據方面，多數研究採用過往已完成之研究成果，部分研究則透過氣候模型進行數值模擬。取得未來情境數據後，可以再依照各案例需要，進行降尺度處理或加入氣候事件調整；此外，未來推估情境除了應用於後續氣候風險評估外，也可以應用於調適措施之設計上。

(2) 氣候變遷風險評估案例蒐集

從國外公路調適案例發現，從國外調適案例氣候風險評估的程度依照資料完備度與專案需求程度，主要可以分為透過專家問卷及評分量表的半定量評估方式、透過統計方法計算的數值評估方式與應用軟體模型進行模擬評估等。此外，在氣候風險評估成果的呈現上，可以透過氣候風險矩陣表或氣候風險地圖等方式呈現。

(3) 因應氣候變遷調適選項案例蒐集

從國外公路調適案例發現，氣候變遷調適選項同樣可依照資料完備度與需求程度進行，主要分為初步提出建議、提出調適選項清單與針對選定調適選項進行成本效益分析，其中調適選項的細部研擬，可透過選定特定地點、氣候壓力或未來情境，有助於進行更詳細的規劃及設計；此外，部分案例在調適選項上也融入了以自然為本的解決方案（NbS）概念，運用自然系統或融入自然元素來增加氣候韌性。

(4) 公路規劃階段調適重要案例研析

依據案例蒐整成果，進一步挑選重要案例進行研析，由於根據案例所在區位不同會面臨不同的氣候壓力因素，在三個主要階段的細部操作上也會有所不同。因此，在重要案例挑選上因應國內公路區位不同屬性（如公路系統位於山區或沿海），原則上須於「氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析」、「氣候變遷風險評估」及「因應氣候變遷調適選項」三個主要階段皆有實際說明，以做為完整調適實務範例。本計畫分別針對沿海、內陸及山區挑選國外案例進行研析，由於國內公路系統尚無完整系統性考量調適案例，因此透過其他運輸系統之調適經驗以供公路主管機關權責單位做為借鏡。

2. 機關交流及專家深度訪談

本計畫於 112 年 5 月至 7 月期間辦理公路規劃專家及機關訪談交流(含會議交流形式等),訪談對象包含公路主管機關(高公局、公路局)、跨領域機關(經濟部能源署、經濟部水利署、經濟部產業發展署)及公路規劃專家等,受訪對象共計 27 人。公路主管機關及公路規劃專家皆針對調適指引應用提出具體應用建議,本計畫依據意見分類為 7 項重點並據以檢討後修正指引。

3. 公路示範案例演示及專家工作坊辦理

本計畫配合期末階段公路局選定之研究示範案例「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」,於 112 年 10 月 12 日辦理專家工作坊進行討論以驗證指引操作流程之可行性。該專家工作坊邀請 NCDR 針對氣候變遷相關資料蒐集與分析給予建議與指導,與會者除有關「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」之可行性研究與綜合規劃執行團隊成員外,另包含交通部高速公路局及中興工程顧問股份有限公司參與試操作之議題討論及觀摩。

4. 公路系統規劃階段調適指引滾動檢討

本計畫以前期計畫編擬的指引為基礎,經公路主管機關與公路規劃專家訪談以及專家工作坊溝通交流後,參考相關文獻進行改版(完整指引內容請參見附冊)。本次改版主要修訂重點如下:

第一章至第二章內容更新,配合今年(2023 年)發布施行之氣候法以及主管機關之政策進行名詞定義更新、氣候變遷推估資訊補充等;第三章配合公路主管機關以及公路規劃專家之意見,增補「可行性研究」及「綜合規劃」報告書之基本要求事項。

第四章配合訪談之公路規劃實務操作需求,針對氣候變遷風險評估相關工作項目之作業方法適度進行內容增補 ISO 14090 系列標準有關前置作業之相關程序,且考量第四章增補後篇幅過大,故將「公路系統調適選項及決策方法」等內容移編至第六章。由於指引定位屬原則通用型、框架層級,整體架構主要依循由淺入深編排方式,第六章內容性質上偏學理概念及國際調適新知及案例分享,可做調適進階作業參考用。

第七章結語則為依原第五章內容進行擴充,並配合行政院部會改組更新學習資源名稱及網址;最後,配合本期計畫期末階段公路示範案例研究內容,新增附錄案例研析,運用案例說明公路規劃三階段操作流程,以利使用者理

解指引各調適工項的關聯性。

5. 公路規劃階段調適指引應用教育訓練辦理

(1) 第一場教育訓練主題：公路規劃階段調適指引導讀

為期進一步引導公路設施權責主管機關具體落實應用公路調適指引，第一場次之課程主題為「公路規劃階段調適指引導讀」，期能透過指引介紹及導讀，協助引導公路專業規劃者於專案規劃中融入氣候變遷調適考量，且指引適用對象不限於公路專業規劃者，公路系統主管機關、業務相關機關、審查人員以及社會大眾皆可透過本指引獲取公路系統氣候變遷調適之相關知識。本計畫於 112 年 5 月 25 日辦理第一場教育訓練。

(2) 第二場教育訓練主題：公路系統規劃階段調適指引及案例分享

為期進一步引導公路設施權責主管機關具體落實應用公路調適指引，分享於本期計畫蒐集與研析之公路規劃調適實務案例以供實務機關後續應用參考。

本次教育訓練分為兩大主題，包含運輸系統及公路系統之調適案例分享，上半場主題為運輸系統調適案例引介國外運輸系統調適案例及桃園國際機場第三跑道及基礎設施綜合規劃案例，而下半場主題為公路系統調適指引及案例，除了回顧公路調適指引重點外，並補充公路調適指引研究示範案例演示成果，以增加公路專業規劃者對於調適工作項目實務操作面之理解，期能有助於強化公路系統調適能力及相關領域從業人員氣候變遷調適之能力建構。本計畫於 112 年 10 月 20 日辦理第二場教育訓練。

6. 研究成果發表

計畫成果投稿於國內研討會「中華民國運輸學會 2023 年年會暨學術論文國際研討會（112 年 12 月 7~8 日）」，投稿之題目為：「公路系統規劃階段融入氣候變遷調適考量之框架」。該論文審查結果於 112 年 10 月 9 日公布：推薦至期刊並入圍論文獎，獲邀於今年度研討會之「傑出論文海報」特別場次出席論文海報發表。

6.2 建議

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。」與《氣候法》之調適專章條文，提出後續調適工作推動建議與調適研究重點建議，分項說明如下：

1. 後續調適工作推動建議

(1) 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

交通系統的調適計畫尚無專門的調適預算或基金，目前係採公務預算編列方式支應，因預算有限故調適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，建議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，建議可透過工作坊、教育訓練等課程活動分享調適觀念，各機關（構）也應適時對內及對外宣導其調適作為。

另外，為加速推動調適主流化，亦可採取將氣候變遷調適考量納入「部頒規範修正」或「納入採購契約」2 種方式，前者係依實務上面臨的情況直接修正部頒規範，後者為公路主管機關自行納入綜合規劃、設計之採購契約中，而這兩者方式皆可有效的加速推動調適工作。

(3) 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，建議加強跨部門相關資料之分析應用並整合於一平台，以便快速掌握整體運輸系統的狀況讓執行單位參照，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。

2. 「公路系統規劃階段強化調適能力作為與指引」後續推動建議

參酌前述公路主管機關及公路規劃專家之意見，以及國內其他領域之推動實務經驗，綜理未來本指引推動之配套措施如下：

(1) 建議公路主管機關將調適工作納入規劃案標規，並適度編列所需經費

行政院國發會「行政院所屬各機關中長程個案計畫編審要點」之「中長程個案計畫自評檢核表」已於 112 年 8 月 11 日修正，明確將「是否強化因應氣候變遷之調適能力」項目納入自評。

因此，建議公路主管機關參酌本指引之內容，將氣候變遷調適工作項目納入重要規劃案之標規內容，並適度編列所需經費，將氣候變遷調適作為逐步導入公路系統之規劃作業中。

(2) 累積本土調適經驗與知識，研擬國內公路調適手冊並開發所需工具

由國外以及國內其他部門推動氣候變遷調適之經驗可知，氣候變遷調適之風險評估及選項做法多元，本期計畫僅為簡易之公路案例演示而非完整公路調適案例實證研究，建議逐步累積本土調適經驗與知識，從而發展出符合國情的標準作業程序及開發國內適用之評估工具。

(3) 配合未來科研協作平臺，針對運輸系統另案建立氣候資訊服務平臺，以支持運輸系統（含公路系統）之氣候變遷調適工作

由於氣候變遷推估乃基於全球環流模式，重視大尺度的氣候變化趨勢「情境推演」，運輸系統（含公路系統）規劃則旨在某一特定地理範圍「提供一項穩定且可靠的運輸基礎設施」，從國內外文獻可知，基於領域文化以及重點之差異，目前氣候資料服務與公路規劃調適資料需求之間仍存在相當落差，諸如資料時空精度、對於未來不確定性的認知與處理能力、資料更新即時性等皆屬常見課題；此外，以公路系統規劃而言，部分資料需先經其他主管機關加值處理之後，例如降雨量經水利主管機關處理為淹水高度等，方始能為公路規劃設計所用。

因此，針對現階段運輸系統（含公路系統）辦理氣候變遷調適的過程中勢必面臨各類型的資料斷鏈問題，建議如下：

短期策略：務實以「實際可取得的最佳資料」替代無法取得的資料，例如，參考區位毗鄰的同類型規劃資料、相關的研究報告、利用其他參數進行推估等，若有此類情形建議附註說明清楚以取得認同；儘量善用指引中所提及的組成「調適工作小組」的機制，選擇妥適的小組成員以適度彌補規劃團隊的知識及資料的不足，例如涉及中央管河川及區域排水議題則邀請水利署擔任小組成員等。

中、長期策略：考量運輸系統影響民生經濟甚鉅，且不同運輸次系統的規劃設計、建設施工、營運、維護管理等各階段工作對於氣候資訊的需求不同，建議考慮針對運輸系統另案建立氣候資訊平臺，介接國科會及環境部資訊，為運輸部門各機關客製化提供各該業務所需之氣候資訊服務。

(4) 定期或不定期滾動檢討本指引

由於目前環境部已訂定「氣候法施行細則」及研議「氣候變遷風險評估作業準則」(草案)，後續擬供各部會做為擬定符合自身使用的指引參考，國科會也持續產製並公開提供給國內調適工作運用之氣候情境資料做為氣候風險評估之依據。因此，建議未來本指引內容仍待配合完善中的法規制度以及氣候變遷科研成果滾動檢討，俾指引內容與時俱進。

參考文獻

1. 氣候變遷因應法，民國 112 年 2 月 15 日總統華總一義字第 11200010681 號令修正公布名稱及全文 63 條，https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=O0020098（2023 年 11 月 28 日）。
2. 行政院環境保護署，國家因應氣候變遷行動綱領，民國 106 年。
3. 行政院，國家氣候變遷調適行動方案（107-111 年），民國 108 年。
4. 行政院，國家氣候變遷調適行動計畫（112-115 年），民國 111 年。
5. 交通部運輸研究所，重大鐵公路建設氣候變遷調適策略與脆弱度評估指標之研究，民國 104 年。
6. 行政院國家科學委員會，臺灣氣候變遷科學報告 2011，民國 100 年。
7. 交通部運輸研究所，重大鐵公路建設氣候變遷風險評估機制與調適資訊平台之研究（1/2），民國 105 年。
8. 交通部運輸研究所，重大鐵公路建設氣候變遷風險評估機制與調適資訊平台之研究（2/2）期末報告，民國 105 年。
9. 交通部運輸研究所，氣候變遷運輸設施風險評估暨風險資訊進階服務計畫，民國 107 年。
10. 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。
11. 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。
12. 交通部運輸研究所，運輸系統調適策略研究，民國 109 年。
13. 交通部運輸研究所，運輸系統因應氣候變遷調適之研究，民國 110 年。
14. the International Organization for Standardization, ISO 14090 Adaptation to climate change — Principles, requirements and guidelines, 2019
15. 交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討(1/2)，民國 111 年。

16.交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討(2/2)，民國113年。

17.UN Environment Programme, Adaptation Gap Report 2022, 2022

18.Intergovernmental Panel on Climate Change, Sixth Assessment Report: Climate Change 2021: The Physical Science Basis, 2021

19.Intergovernmental Panel Climate Change, AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability, 2022

20.國科會、中央研究院環境變遷研究中心、交通部中央氣象署、臺灣師範大學地球科學系、國家災害防救科技中心，IPCC氣候變遷第六次評估報告（AR6）「衝擊、調適與脆弱度」之科學重點摘錄與臺灣氣候變遷評析更新報告，民國111年。

21.Intergovernmental Panel on Climate Change, Synthesis report of the IPCC sixth assessment report, 2023

22.the International Organization for Standardization, ISO 14091 Adaptation to climate change - Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment, 2021

23.the International Organization for Standardization, ISO 14092 Adaptation to climate change - Requirements and guidance on adaptation planning for local governments and communities, 2020

24.the International Organization for Standardization, ISO 14093 Mechanism for financing local adaptation to climate change - Performance-based climate resilience grants - Requirements and guidelines, 2022

25.Scottish Government, Climate Ready Scotland: Second Scottish Climate Change Adaptation Programme 2019-2024, 2019

26.Department of Transport, Tourism and Sport, Transport Climate Change Sectoral Adaptation Plan, 2019

27.U.S. Department of Transportation, The Fiscal Year 2022-2026 Strategic Plan, 2021

28.The State of Victoria Department of Transport, Transport Climate Change Adaptation Action Plan 2022–2026, 2022

29.Waka Kotahi NZ Transport Agency, Tiro Rangi – our climate adaptation plan, 2022

30.National Cooperative Highway Research Program, Incorporating the Costs and Benefits of Adaptation Measures in Preparation for Extreme Weather Events and Climate Change Guidebook, 2020

31.The White house, Opportunities to accelerate nature-based solutions: a roadmap for climate progress, thriving nature, equity, & prosperity, 2022

32.Ariadne Baskin, Nature Based Solutions (NBS) in the Transport Sector, Germany, Transformative Urban Mobility Initiative, 2023

33.Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: an Implementation Guide, Federal Highway Administration, 2019

34.經濟部產業發展署，全球數位科技應用發展趨勢與重點應用分析，民國 109 年。

35.World Road Association, Climate Change, Other Hazards and Resilience of Road Networks: A PIARC Collection of Case Studies, France, 2022

36.Federal Highway Administration, Post Hurricane Sandy Transportation Resilience Study in NY, NJ, and CT, 2017

37.Federal Highway Administration, Resilient and Sustainable Transport - Dutch Style: An interim report on bilateral cooperation between FHWA and Rijkwaterstaat, 2017

38.Leijstra, M., Van Muiswinkel, K., Leendertse, W., & Bles, T., Development of a Climate Adaptation Strategy for the InnovA58 highway in the Netherlands. Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 2018, 2018

39.Oregon Department of Transportation, Climate Change Vulnerability Assessment and Adaptation Options Study, 2014

40.桃園國際機場股份有限公司，桃園國際機場股份有限公司永續報告書，民國 110 年。

41.臺灣世曦工程顧問股份有限公司、中興工程顧問股份有限公司，臺灣桃園國際機場第三跑道及基礎設施綜合規劃暨基本設計委託技術服務，民國 111 年。

附錄 1 計畫摘要

一、計畫緣起與目的

1. 計畫緣起

為強化各領域因應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》(以下簡稱《溫管法》) 並於 112 年 2 月公布修正為《氣候變遷因應法》(以下簡稱《氣候法》)，其中，第 19 條明定中央目的事業主管機關應就易受氣候變遷衝擊之權責領域，訂定四年為一期之該領域調適行動方案(以下簡稱調適行動方案)，以因應氣候變遷下全球暖化衝擊。

為提升國內運輸系統調適能力，本所自 106 年起著手進行調適策略之研究，爾後持續透過蒐集國際調適新趨勢與作為、掌握國內機關調適相關工作推動狀況以及關注新科技之應用趨勢等，滾動檢討運輸系統調適策略。

各運輸次系統中尤以公路系統與民眾之生活最為息息相關，惟我國既有之公路系統規劃機制及相關規範對於氣候變遷調適之考量仍有不足之虞，公路系統一旦營運中斷對於經濟與民生之衝擊不言可喻。

本所於前期計畫已研擬「公路系統規劃階段調適指引」(以下簡稱公路調適指引) 文本，為期進一步引導公路設施權責主管機關具體落實應用，擬持續蒐集與研析調適實務案例，提供公路設施權責主管機關參考，俾利其強化公路系統規劃設計及管理，提升公路系統調適能力；深化各部屬設施權責機關(構)人員對氣候變遷與調適的認識，持續辦理調適專業知識教育訓練，以利運輸系統調適相關業務之推動。基於以上業務推動之需要，爰辦理本計畫。

2. 計畫目的

綜上，本計畫之主要目的如下：

(1) 針對公路系統強化調適能力案例進行蒐集與研析，研究成果可提供公路設施權責主管機關應用參考。

(2) 將提供公路系統規劃階段調適指引應用建議予公路設施權責主管機關參考，俾利其務實檢視與調整規劃設計階段之相關法規或規範，強化公路系統整體調適能力。

二、重要工作成果

1. 公路調適指引實務應用案例蒐集與研析

依據公路調適指引，公路系統規劃流程融入調適概念各階段包含第一階段「氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析」、第二階段「初步評估影響調適能力氣候風險因素」與第三階段「氣候變遷風險評估」。

案例分析以上述三階段架構為基礎，考量「初步評估影響調適能力氣候風險因素」與「氣候變遷風險評估」具同質性，故在案例分析上予以整併，另考量氣候變遷調適選項針對氣候風險提出因應手段，為調適工作中重要一環，綜合上述說明，後續將依照「氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析」、「氣候變遷風險評估」及「因應氣候變遷調適選項」三個主要工作項目為架構進行案例蒐整分類。

(1) 氣候變遷情境選擇案例蒐集

從國外公路調適案例發現，在未來情境之降雨、海平面上升等數據方面，多數研究採用過往已完成之研究成果，部分研究則透過氣候模型進行數值模擬。取得未來情境數據後，可以再依照各案例需要，進行降尺度處理或加入氣候事件調整；此外，未來推估情境除了應用於後續氣候風險評估外，也可以應用於調適措施之設計上。

(2) 氣候變遷風險評估案例蒐集

從國外公路調適案例發現，氣候風險評估的程度依照資料完備度與專案需求程度，主要可以分為透過專家問卷及評分量表的半定量評估方式、透過統計方法計算的數值評估方式與應用軟體模型進行模擬評估等。此外，在氣候風險評估成果的呈現上，可以透過氣候風險矩陣表或氣候風險地圖等方式呈現。

(3) 因應氣候變遷調適選項案例蒐集

從國外公路調適案例發現,氣候變遷調適選項同樣可依照資料完備度與需求程度進行,主要分為初步提出建議、提出調適選項清單與針對選定調適選項進行成本效益分析,其中調適選項的細部研擬,可透過選定特定地點、氣候壓力或未來情境,有助於進行更詳細的規劃及設計;此外,部分案例在調適選項上也融入了以自然為本的解決方案(NbS)概念,運用自然系統或融入自然元素來增加氣候韌性。

(4) 公路規劃階段調適重要案例研析

依據案例蒐整成果,進一步挑選重要案例進行研析,由於根據案例所在區位不同會面臨不同的氣候壓力因素,在三個主要階段的細部操作上也會有所不同。因此,在重要案例挑選上因應國內公路區位不同屬性(如公路系統位於山區或沿海),原則上須於「氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析」、「氣候變遷風險評估」及「因應氣候變遷調適選項」三個主要階段皆有實際說明,以做為完整調適實務範例。本計畫分別針對沿海、內陸及山區挑選國外案例進行研析,由於國內公路系統尚無完整系統性考量調適案例,因此透過其他運輸系統之調適經驗以供公路機關權責單位做為借鏡。

2. 機關交流及專家深度訪談

本計畫於 112 年 5 月至 7 月期間辦理公路專家及機關訪談交流(含會議交流形式等),訪談對象包含公路機關(高公局、公路局)、跨領域機關(經濟部能源署、經濟部水利署、經濟部產業發展署)及公路專家等,受訪對象共計 27 人,針對指引應用建議(內容調整建議)及後續政策制度推動建議,訪談重點歸納如附表 1.1。

附表 1.1 訪談重點彙整表

面向	公路主管機關	公路規劃專家
本指引應用建議（內容調整建議）	• 建議說明可行性研究、綜合規劃階段應配合調適作業之事項及配合程度 • 題目訂為規劃階段，容易令人誤會僅規劃階段需要進行氣候變遷調適 • 加強說明氣候風險的定性評估方法 • 加強說明調適管理等軟性手段 • 成本及經濟效益評估部分，建議增加說明內容以供依循，如因考量氣候變遷之工程經費提升上限建議等	• 建議說明可行性研究、綜合規劃階段應配合調適作業之事項及配合程度 • 機制流程圖中「氣候變遷風險評估」與「建議路線方案工程研究」建議改為雙向箭頭 • 機制流程圖第三階段各分項工程下建議新增「氣候變遷因應措施」，最後將相關因應措施納入建設計畫研析 • 機制流程圖中鼓勵地方團體及公民共同參與部分，建議於規劃階段無須找地方團體及公民參與 • 養護計畫部分，當規劃設計階段所擬之後續養護原則與養護手冊不一致時，可透過養護計畫進行原則性建議，以供後續養護單位依循 • 提供納入氣候變遷考量之經濟效益評估或成本效益評估方法
後續政策制度推動建議	• 建議產製操作手冊並具體落實至設計規範 • 氣候變遷風險評估機制及程序建議予以法制化，可參考地質法對工程計畫涉及地質敏感區時，需做的評估機制流程之做法 • 氣候變遷主管機關統合各機關單位產製之氣候相關資料，並建立入口網站 • 應由國家權威機構將氣候變遷推估情境與氣候資料轉換為工程界可以實際應用之數據 • 建議參考「經濟效益評估手冊」，針對本指引開發工具軟體並配合案例說明，俾利全國有一致的分析、評估標準	• 建議產製操作手冊並具體落實至設計規範 • 風險評估部分，建議參考生態檢核機制以檢核表方式較具可操作性 • 推動程序建議參考生態檢核經驗，由公共工程委員會訂定原則後，各主管機關再訂定符合各自領域使用之指引、手冊 • 應盡快推廣指引實務應用以逐步累積本土調適經驗，並說明清楚目前所能掌握之資料、工具之限制，後續再滾動修正 • 應由具公信力的權威機關協助將氣候變遷情境推估資料轉譯為可供各領域使用之資訊 • 應推出公版風險地圖，專案各別做會有專家量能不足、經費不足、公信力不足的問題

附表 1.1 訪談重點彙整表(續)

面向	公路主管機關	公路規劃專家
政策誘因	• 高速公路經費來源為國道公路建設管理基金，一般經費補助誘因較不具吸引力，可從審查機制著手	• 可行性研究階段若發現重要課題，應於綜合規劃階段委託標案時，於契約中編具足夠經費及時間處理，較複雜之課題則應另案研究 • 建議參考生態檢核機制，於金質獎評選機制中納入生態檢核(占比達 10-15%)，並聘請生態專家擔任評審委員
國內案例	• 桃園國際機場第三跑道：桃園國際機場股份有限公司交由高公局代辦 • 氣候偵測站：高公局與氣象局合作設置 • UAV 巡檢邊坡：更全面掌握邊坡現況，增加巡檢效能，目前應用於省道改善計畫中所挑選出之山區高風險路段 • 公路防救災資訊系統(bobe168)：整合氣象局、水利署等即時資訊，快速傳遞預警資訊給用路人	• 淡江大橋、金門大橋：國內指標性跨海大橋 • 撒拉阿塢橋、萬大橋：受極端氣候衝擊後重建之橋梁 • 蘇花公路改善計畫、蘇花公路安全提升計畫：於規劃時考量較多氣候風險因素，並將評估結果應用於方案評估
其他： 重要調適思維	• 調適路徑強調在辨識未來風險後，逐步推動因應作為並搭配持續監測，此與工程思維強調針對風險一次設計到位不同 • 應於前期規劃、設計階段考量氣候變遷調適，施工、養護階段皆按照前期規劃、設計成果施工及維護，因此要談調適已相對困難 • 由上而下的調適規劃較具整體性考量，如因應河川治理計畫檢討改建河川老舊橋梁，反之由下而上的個案檢討較難有系統性規範	• 調適原則應於綜合規劃階段確立並載於規劃報告書，以供設計階段依循，設計階段不應再做大幅調整 • 目前工程設計多未進行考量未來氣候情境之氣候變遷風險評估，因此目前做法多為選擇較設計規範要求更高之設計強度以因應

資料來源：本計畫彙整。

3. 示範案例演示及專家工作坊辦理

由於國內尚缺乏氣候變遷風險評估相關實務操作經驗，因此本計畫配合公路局選定之研究示範案例「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」，試操作本指引之氣候變遷風險評估三階段作業流程，以驗證其可操作性，並透過

專家工作坊與調適工作小組進行討論以驗證指引操作流程之可行性。專家工作坊討論重要發現如下：

(1) 增納前置作業

考量國內公路領域氣候變遷調適尚在起步階段，於氣候情境設定與氣候資料應用、氣候議題界定、氣候變遷風險評估等作業方面，工程規劃團隊皆須與相關機關與專家討論研議。因此，建議各工程專案應於氣候變遷調適作業開始執行前即組織調適工作小組，調適工作小組成員除主辦單位及工程規劃團隊外，建議至少應包含氣候變遷調適主管機關與所涉環境區位相關主管機關，並建立調適工作小組討論及意見徵詢機制（如專家工作坊）。

(2) 蒐集與分析氣候變遷相關資料

各專案針對氣候推估情境與氣候相關資料有其他特殊使用需求者，建議可與氣候變遷資料提供機關討論研議，提供符合專案需求之氣候推估情境與氣候相關資料。

(3) 初步評估影響調適能力氣候風險因素/氣候變遷風險評估

針對氣候風險議題複雜、風險不確定性高之專案，建議可與調適工作小組討論研議，逐步收斂專案氣候風險議題。

各專案針對氣候變遷風險評估所需之專案基礎資料、氣候相關資料是否完備，建議透過調適工作小組討論確認；針對風險評估所使用之指標、閾值與權重，依照各專案需求不同，應與調適工作小組討論決定。

4. 指引修訂意見歸納及處理

指引內容修訂之意見大致可歸納為以下七種類型，本指引配合相關意見檢討修訂情形彙整如附表 1.2。相關意見概述如下：

(1) 指引名稱、定位及範疇再確認

① 指引名稱應說明清楚，原「公路系統規劃階段調適指引」建議可改為「公路系統規劃階段之氣候變遷調適指引」。

② 由於題目訂為規劃階段，容易令人誤會僅規劃階段需要進行氣候變遷調適，建議於適用範疇加強說明並說明新建及改建規劃是否皆可適用。

③ 指引定位應說明清楚係屬原則通用型或是詳細操作型：若是屬原則通用型/框架層次的指引，應著重在加強調適基本概念介紹及觀念釐清；若是詳細操作型則需類似指引手冊功能，為求最終產出標準化的成果呈現方式，需提出細部操作流程以做為實務操作參照用。

(2) 配合國內法令與相關規範更新名詞定義，並加強名詞定義說明

① 配合國內法令與相關規範更新名詞定義，建議採氣候變遷因應法暨相關子法、環境部氣候變遷名詞手冊及其他具公信力的國際機構之定義。

② 指引初稿之名詞定義雖已採用具公信力的國際機構之定義（如 IPCC 等），但有些名詞論述較為抽象，必要時可採公路規劃觀點加以註解。

(3) 氣候變遷調適理念融入公路規劃之流程調整建議

① 為協助公路主管機關實務面之調適推動，配合目前公路主管機關擬將調適工作納入契約要求，建議於機制流程補充說明可行性研究、綜合規劃階段應配合調適作業之事項及配合程度。

② 後續相關機制流程推動方向，建議未來可將氣候變遷風險評估機制及程序予以法制化，可參考地質法對工程計畫涉及地質敏感區時，需做的評估機制流程之做法等，制定氣候變遷風險評估機制及程序等。

(4) 公路規劃階段之氣候變遷情境選擇、設定及所需資料之來源、運用等問題

① 指引提出於規劃階段應進行氣候資料蒐集分析，惟針對未來氣候變遷趨勢及氣候變遷情境資料應如何取得及運用等細部指導尚不明確，期許可透過指引（包含必要時諮詢氣候/調適相關專家）獲得更多指導，以利公路專案進行。

② 公路主管機關對於目前可取得之氣候情境資料在無相關專家引導下仍無法直接應用，需要相關機關進行加值應用或透過相關研究補足知識缺口。

③ 建議可由具公信力的國內權威機關協助將氣候變遷情境資料轉譯為可供公路領域應用之資訊，或透過專家工作坊討論以利初步瞭解所需氣候相關資料。

(5) 公路規劃階段氣候變遷風險評估作業之相關問題

① 由於國內目前尚無公路系統氣候變遷風險評估之經驗，建議增納（氣候變遷風險評估）前置作業，由專案規劃團隊邀集利害關係者先初步釐清專案可能面臨的調適課題，界定關鍵問題之後訂定目標及預期成果，再執行氣候變遷風險評估。

② 目前公路主管機關執行調適推動困境是，公路系統現階段尚不具備足夠數據及技術進行量化之氣候變遷風險評估。建議於指引加強說明氣候變遷風險評估的定性評估方法，並說明公路規劃階段氣候變遷風險評估如何進行以及氣候變遷風險評估有哪些必要的工作等。

(6) 調適選項相關建議

① 由於《氣候變遷因應法》及目前尚在研擬中的《氣候變遷風險評估作業準則》(草案)並無強制規定須執行研擬調適選項或調適選項成本效益分析，但為有助於決策者推動調適時，需要輔以成本效益分析以利選擇調適選項，故建議補充調適選項成本效益分析論述。

② 為強化調適選項與氣候變遷風險評估結果之關聯性，可考慮把「調適選項」納入綜合規劃報告的氣候變遷風險評估表內容，讓使用者可依據評估結果視需要研擬調適選項。

(7) 案例相關建議

國內公路調適案例仍有侷限性，多以議題式操作（如複合性災害），尚無完整納入調適概念，且多未使用氣候變遷推估情境或進行氣候變遷風險評估。為完整說明規劃三階段調適工項的關聯性，建議以國內公路案例說明。

附表 1.2 指引初稿修正意見暨處理情形一覽表

項目	意見類型	處理情形	修訂章節
1	指引名稱、定位及範疇再確認	1.指引名稱：擬修訂為「公路系統規劃階段之氣候變遷調適指引」 2.指引定位：屬框架層次的指引，主要內容為引介理念、程序及方法，並運用案例說明操作流程，以利理解 3.適用範疇：補強指引適用範疇說明，主要適用對象為高快速公路及省道之新建及改建規劃	封面、摘要、1.1 節（前言）
2	配合國內法令與相關規範更新名詞定義，並加強名詞定義說明，以利理解	1.採《氣候法》暨相關子法、環境部氣候變遷名詞手冊以及其他具公信力的國際機構之定義（如 IPCC、ISO 等），儘量標註原文出處 2.必要時採公路規劃觀點加註解	1.2 節(名詞定義)
3	氣候變遷調適理念融入公路規劃之流程調整建議	1.擬增補「可行性研究」及「綜合規劃」報告書之基本要求事項 2.「調適選項」納入綜規報告的氣候變遷風險評估表內容 3.「氣候變遷風險評估」與「工程研究」二者應為互相反饋的關係，擬配合調整流程圖，並補充說明「殘餘風險」如何處理 4.擬參考地質法涉及地質敏感區時須執行的評估機制流程，其分為「區域調查」與「細部調查」二層次，可類比本指引之「第二階段初步評估影響調適能力之氣候風險因素」(建議於可行性研究進行)與「第三階段執行氣候變遷風險評估」（建議於綜合規劃進行）	3.1~3.4 節（調適機制）
4	公路規劃階段之氣候變遷情境選擇、設定及所需資料之來源、運用等問題	1.如何選擇情境：建議以「國家氣候變遷調適行動方案（112-115 年）」所採用的「國家調適應用情境」為參考情境 2.如何設定期間：建議參考資料可取得性及公路設施的年限加以設定 3.如何研判所需資料：依據專案所在區位、設施性質及功能、使用年限及過去及未來可能面臨的氣候壓力因素，研判所需蒐集之氣候及相關環境變異資料，必要時諮詢專家	3.2 節(第一階段：蒐集與分析氣候變遷相關資料)、第四章（蒐集氣候變遷相關資料與分析方法）

附表 1.2 指引初稿修正意見暨處理情形一覽表(續)

項目	意見類型	處理情形	修訂章節
4	公路規劃階段之氣候變遷情境選擇、設定及所需資料之來源、運用等問題	4.如何取得所需資料：目前氣候變遷資料與圖資主要由國科會「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫」（以下簡稱TCCIP）團隊產製，擬更新及補充說明目前 TCCIP 之資料	3.2 節（第一階段：蒐集與分析氣候變遷相關資料）、第四章（蒐集氣候變遷相關資料與分析方法）
5	公路規劃階段氣候變遷風險評估作業之相關問題	1.公路規劃階段氣候變遷風險評估有哪些必要的工作（What）： (1)準備工作：界定評估範疇、確認利害關係人並著手蒐集相關資料，資料蒐集內容應足夠揭露未來可能的氣候變遷風險。 (2)初步評估：運用氣候變遷相關推估數據以及實務經驗初步評估公路未來將面臨危害、暴露及脆弱因素，指認風險相對較高區位，供方案選擇參考。 (3)詳細評估：針對中高風險級別以上區位進一步詳細評估公路的重要組成、風險成因及風險程度，並研擬調適選項供工程規劃及設計階段參考 2.氣候變遷風險評估如何進行（How）： (1)新增氣候變遷風險評估前置作業 (2)若現階段尚難進行定量評估，建議加強定性評估並著重風險辨識及揭露 (3)說明評定風險等級的方法，提出具體的分級方式供參考，如風險矩陣等 (4)氣候變遷風險評估與目前的中長程個案計畫之風險管理等工作建議整合 (5)建議公路主管機關之資深人員參與氣候變遷風險評估作業	新增第四章前置作業專章
6	調適選項相關建議	1.確實有必要輔以成本效益分析選擇調適選項，但現階段分析方法及資料問題均待解決，故此版暫不納入 2.為加強連結調適選項與氣候變遷風險評估的關聯性，將「調適選項」納入綜規報告的氣候變遷風險評估表內容	3.1~3.4 節（調適機制）
7	案例相關建議	指引補充完整案例示範說明三階段調適作為之間以及風險評估與調適選項之關聯性	新增附錄

資料來源：本計畫彙整。

5. 公路系統規劃階段調適指引滾動檢討

本計畫以前期計畫編擬的指引為基礎，經公路主管機關與公路規劃專家訪談以及專家工作坊溝通交流後，參考相關文獻進行改版（完整指引內容請參見附冊）。本次改版主要修訂重點如下：

第一章至第二章內容更新，配合 2023 年發布施行之氣候法以及主管機關之政策進行名詞定義更新、氣候變遷推估資訊補充等；第三章配合公路主管機關以及公路規劃專家之意見，增補「可行性研究」及「綜合規劃」報告書之基本要求事項。

第四章配合訪談之公路規劃實務操作需求，針對氣候變遷風險評估相關工作項目之作業方法適度進行內容增補 ISO 14090 系列標準有關前置作業之相關程序，且考量第四章增補後篇幅過大，故將「公路系統調適選項及決策方法」等內容移編至第六章。由於指引定位屬原則通用型、框架層級，整體架構主要依循由淺入深編排方式，第六章內容性質上偏學理概念及國際調適新知及案例分享，可做調適進階作業參考用。

第七章結語則為依原第五章內容進行擴充，並配合行政院部會改組更新學習資源名稱及網址；最後，配合本期計畫期末階段公路示範案例研究內容，新增附錄案例研析，運用案例說明公路規劃三階段操作流程，以利使用者理解指引各調適工項的關聯性。改版前後重要差異對照表如附表 1.3。

附表 1.3 改版前後各章節重要差異對照表

章節	111 年計畫		本期計畫		調整說明
1	導讀				（章節標號、標題無變更）
	1-1	前言	1-1	前言	1.指引名稱：修訂為「公路系統規劃階段氣候變遷調適指引」 2.指引定位：屬框架層次的指引，主要內容為引介理念、程序及方法，並運用案例說明操作流程。

附表 1.3 改版前後各章節重要差異對照(續)

章節	111 年計畫		本期計畫		調整說明
1	導讀				（章節標號、標題無變更）
	1-2	名詞定義	1-2	名詞定義	1.採氣候變遷因應法暨相關子法、環境部氣候變遷名詞手冊以及其他具公信力的國際機構之定義（如 IPCC、ISO 等），儘量標註原文出處。 2.新增名詞定義包含：情境、氣候壓力、衝擊、氣候變遷風險、氣候變遷調適、風險評估、調適選項及調適路徑 3.必要時採公路規劃觀點加註解，已加註名詞包含：氣候變遷、氣候變遷調適、韌性、風險、危害、暴露度、脆弱度、調適能力、氣候變遷風險及氣候變遷調適
	1-3	氣候變遷調適之基本概念	1-3	氣候變遷調適之基本概念	1.針對調適基本概念補充圖文說明，包含氣候變遷風險圖說明、氣候變遷風險圖與調適作為概念圖，另調整調適關鍵要素標題名稱，改為調適決策（過程） 2.刪除本節之全球暖化衝擊與因應減緩與調適之名詞定義說明，以避免與前節內容重複
	1-4	氣候變遷調適最新發展趨勢	1-4	氣候變遷調適最新發展趨勢	1.綜整 ISO 近五年發布有關調適之四項標準並整理成表 2.補充氣候變遷因應法提及之調適相關重要內容，並更新國內調適推動現況（至 112 年）
	1-5	指引結構說明	1-5	指引結構說明	1.調整架構，並新增附錄（案例） 2.更新原圖 1.9，提供章節應用索引
2	氣候變遷對公路系統的影響				（新增 2.1 節）
			2.1	全球暖化與氣候變遷推估	1.為加強對全球暖化與情境推估理解，將 2.1 節名稱改為全球暖化與氣候變遷推估 2.補充說明 IPCC 氣候情境推估及固定增溫情境設定

附表 1.3 改版前後各章節重要差異對照(續)

章節	111 年計畫		本期計畫		調整說明
2	氣候變遷對公路系統的影響				（新增 2.1 節）
	2.1	臺灣氣候變遷推估資訊	2.2	臺灣氣候變遷趨勢	1.章節更名，原 2.1 臺灣氣候情境推估內容移至新 2.2 臺灣氣候變遷趨勢 2.更新國家氣候變遷情境設定說明
	2.2	氣候變遷對公路系統之衝擊	2.3	氣候變遷對公路系統之衝擊	原 2.2 內容移至新 2.3
3	公路系統規劃階段強化調適能力機制				（刪原 3.5 節）
	3.1	公路系統規劃作業流程融入調適概念之框架	3.1	公路系統規劃作業流程融入調適概念之框架	增加本指引之「第二階段初步評估影響調適能力之氣候風險因素(建議於可行性研究進行)」與「第三階段執行氣候變遷風險評估(建議於綜合規劃進行)」之說明
	3.2	第一階段：蒐集與分析氣候變遷相關資料	3.2	第一階段：蒐集與分析氣候變遷相關資料	1.各階段增補「可行性研究」及「綜合規劃」報告書之基本要求事項 2.配合公路實務需求，透過公路調適示範案例演示，於第四章加強國內可行之作業方法說明
	3.3	第二階段：初步評估影響調適能力之氣候風險因素	3.3	第二階段：初步評估影響調適能力之氣候風險因素	1.各階段增補「可行性研究」及「綜合規劃」報告書之基本要求事項 2.配合公路實務需求，透過公路調適示範案例演示，於第四章加強國內可行之作業方法說明
	3.4	第三階段：執行氣候變遷風險評估	3.4	第三階段：執行氣候變遷風險評估	1.各階段增補「可行性研究」及「綜合規劃」報告書之基本要求事項 2.配合公路實務需求，透過公路調適示範案例演示，於第四章加強國內可行之作業方法說明
	3.5	公路跨其他運輸系統調適介面整合機制	-	-	刪除 3.5 跨其他運輸系統調適介面整合機制
	3.6	本章重要觀念	3.5	本章重要觀念	原 3.6 內容移至新 3.5

附表 1.3 改版前後各章節重要差異對照(續)

章節	111 年計畫		本期計畫		調整說明
4	-		前置作業		（配合實務面操作需求，參酌 ISO 14090 系列標準，新增前置作業專章）
5	公路系統規劃階段強化調適能力方法		公路系統規劃階段氣候變遷風險評估作業方法		（原第四章擴編為五、六章）
	4.1	公路系統氣候衝擊鏈分析方法	5.1	建構公路系統氣候衝擊鏈	酌修原 4.1 內容移至新 5.1
	4.2	公路系統氣候風險評估之方法	5.2	執行公路系統氣候變遷風險評估方法	酌修原 4.2 內容移至新 5.2
	4.5	本章重要觀念	5.3	本章重要觀念	配合本節增補及刪減內容更新小結
6			公路系統調適選項及決策方法		（原第四章擴編為五、六章）
	4.3	公路系統因應氣候變遷衝擊之調適選項	6.1	公路系統因應氣候變遷之調適選項	原 4.3 內容移至新 6.1
	4.4	面對高度不確定性之決策方法	6.2	面對高度不確定性之決策方法	原 4.4 內容移至新 6.2
			6.3	本章重要觀念	配合章節調整新增 6.3
7	結語		結語		（章節標號順移、標題無變更）
	5.1	結語	7.1	結語	原 5.1 標題移至新 7.1 配合指引增補及刪減內容更新小結
	5.2	學習資源	7.2	學習資源	1.原 5.2 標題移至新 7.2 2.配合行政院部會改組更新學習資源名稱及網址
-	-			附錄	(新增附錄)

資料來源：本計畫彙整。

三、建議

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。」與《氣候變遷因應法》之調適條文，提出後續調適工作推動建議與調適研究重點建議，分項說明如下：

1. 後續調適工作推動建議

以下就本計畫蒐集與辨識之調適課題與建議之調適策略推動順序提出後續調適工作推動建議，供運輸設施管理機關（構）與相關機關（構）參考：

(1) 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

交通系統的調適計畫尚無專門的調適預算或基金，目前係採公務預算編列方式支應，因預算有限故調適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，可透過工作坊、教育訓練等課程活動分享調適觀念，各機關（構）也應適時對內及對外宣導其調適作為。

另外，為加速推動調適主流化，亦可採取將氣候變遷調適考量納入「部頒規範修正」或「納入採購契約」2 種方式，前者係依實務上面臨的情況直接修正部頒規範，後者為公路主管機關自行納入綜合規劃、設計之採購契約中，而這兩者方式皆可有效的加速推動調適工作。

(3) 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，建議加強跨部門相關資料之分析應用並整合於一平台，以便快速掌握整體運輸系統的狀況讓執行單位參照，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。

2. 「公路系統規劃階段強化調適能力作為與指引」後續推動建議

參酌前述公路主管機關及公路規劃專家之意見，以及國內其他領域之推動實務經驗，綜理未來本指引推動之配套措施如下：

(1) 建議公路主管機關將調適工作納入規劃案標規，並適度編列所需經費

行政院國家發展委員會「行政院所屬各機關中長程個案計畫編審要點」之「中長程個案計畫自評檢核表」已於 112 年 8 月 11 日修正，明確將「是否強化因應氣候變遷之調適能力」項目納入自評。

因此，建議公路主管機關參酌本指引之內容，將氣候變遷調適工作項目納入重要規劃案之標規內容，並適度編列所需經費，將氣候變遷調適作為逐步導入公路系統之規劃作業中。

(2) 累積本土調適經驗與知識，研擬國內公路調適手冊並開發所需工具

由國外以及國內其他部門推動氣候變遷調適之經驗可知，氣候變遷調適之風險評估及選項做法多元，本期計畫僅為簡易之公路案例演示而非完整公路調適案例實證研究，建議逐步累積本土調適經驗與知識，從而發展出符合國情的標準作業程序及開發國內適用之評估工具。

(3) 配合未來科研協作平臺，針對運輸系統另案建立氣候資訊服務平臺，以支持運輸系統（含公路系統）之氣候變遷調適工作

由於氣候變遷推估乃基於全球環流模式，重視大尺度的氣候變化趨勢「情境推演」，運輸系統（含公路系統）規劃則旨在某一特定地理範圍「提供一項穩定且可靠的運輸基礎設施」，從國內外文獻可知，基於領域文化以及重點之差異，目前氣候資料服務與公路規劃調適資料需求之間仍存在相當落差，諸如資料時空精度、對於未來不確定性的認知與處理能力、資料更新即時性等皆屬常見課題；此外，以公路系統規劃而言，部分資料需先經其他主管機關加值處理之後，例如降雨量經水利主管機關處理為淹水高度等，方始能為公路規劃設計所用。

因此，針對現階段運輸系統（含公路系統）辦理氣候變遷調適的過程中勢必面臨各類型的資料斷鏈問題，建議如下：

短期策略：務實以「實際可取得的最佳資料」替代無法取得的資料，例如，參考區位毗鄰的同類型規劃資料、相關的研究報告、利用其他參數進行推估等，若有此類情形建議附註說明清楚以取得認同；儘量善用指引

中所提及的組成「調適工作小組」的機制，選擇妥適的小組成員以適度彌補規劃團隊的知識及資料的不足，例如涉及中央管河川及區域排水議題則邀請水利署擔任小組成員等。

中、長期策略：考量運輸系統影響民生經濟甚鉅，且不同運輸次系統的規劃設計、建設施工、營運、維護管理等各階段工作對於氣候資訊的需求不同，建議考慮針對運輸系統另案建立氣候資訊平臺，介接國科會及環境部資訊，為運輸部門各機關客製化提供各該業務所需之氣候資訊服務。

(4) 定期或不定期滾動檢討本指引

由於目前環境部已完成訂定「氣候變遷因應法施行細則」及研議「氣候變遷風險評估作業準則」，後續可提供各部會做為擬定符合自身使用的指引參考，國科會也持續產製並公開提供給國內調適工作運用之氣候情境資料做為氣候風險評估之依據。因此，未來本指引內容仍待配合完善中的法規制度以及氣候變遷科研成果滾動檢討，俾指引內容與時俱進。

附錄 2 審查意見辦理情形

2.1 期中審查

一、時間：112 年 8 月 4 日（五）上午 9 時 30 分

二、地點：交通 F 部運輸研究所 5 樓會議室

三、主持人：黃新薰副所長

四、審查意見回復表

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
交通部公路總局陳總工程司進發		
1.有關公路總局推動之審查機制，已於今年 7 月 1 日納入契約規範，然而由於擔心規範過多影響案件進度，因此相關契約規範尚無法具體要求應辦事項，僅簡單敘明應於規劃階段彙整氣候變遷調查成果、辦理氣候變遷風險評估、因應對策與調適選項等。後續工程顧問公司專案執行後可回饋更多具體實務面的意見，建議運研所及團隊蒐集工程顧問公司之意見回饋，包含哪些能夠實際執行，不能執行的原因為何。	配合期末階段公路局選定之公路示範案例「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」，已於 112 年 10 月 12 日辦理專家工作坊進行討論以驗證指引操作流程之可行性。該專家工作坊邀請 NCDR、公路局、高公局及工程顧問公司等針對調適作業階段步驟演示初步成果給予建議與指導。專家工作坊意見綜整詳見報告書第 4.3 節。	同意
2.報告書第 1.3 節，建請確認本計畫研究範圍是否僅限於規劃階段，既有設施是否不納入討論?另本研究範圍為公路系統，就系統定義係屬國道、快速公路、省道，至於縣道、鄉道等是否涵蓋在內，建議團隊再定義清楚。	(1)研究範圍針對公路系統規劃階段，但相關方法可適用既有設施。 (2)指引係針對國內高速公路、快速公路、省道系統之規劃程序而編寫，然其他公路(道路)仍可參用。 (3)研究範疇詳見報告書第 1.3 節、指引之適用範疇說明詳見附冊 1.1 節。	同意
3.報告書第一章敘明，本計畫目的主要為進行案例特性分析或探討作法，提出可供國內參採之應用建議，惟在期	(1)本計畫於報告第四章摘錄公路機關與公路專家訪談、公路示範案例演示及以及專家工作坊溝通交流意見，並綜整意見後納入設施權責	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
中報告並未看到具體如何進行，建議後續最重要是納入設施權責機關之需求。	機關之需求，將指引修訂改版。 (2)檢討過程詳見第四章，檢討後之完整指引內容請參見附冊。	
4.報告書第 1-6 頁圖 1.4.1 計畫工作流程，工作項目提到與公路機關交流及滾動檢討指引，僅訪談交流無法達到滾動檢討指引之效，且公路機關訪談作業目前受訪對象尚缺公路總局，建議團隊與本局規劃組討論研商，挑選一個公路規劃階段案例示範操作。	配合期末階段公路局選定之公路示範案例演示「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」，已於 112 年 10 月 12 日辦理專家工作坊進行討論以驗證指引操作流程之可行性。該專家工作坊邀請 NCDR、公路局、高公局及工程顧問公司等針對調適作業三階段演示給予建議與指導。專家工作坊意見綜整詳見報告書第 4.3 節。	同意
5.氣候變遷情境設定為公路機關與顧問公司的難題，實務上應如何操作，並協助公路主管機關寫入契約規範，建議運研所是否應將此困難提至環境部或國家災害科技防救中心共同討論此建議作法。	(1)期末階段已透過公路示範案例演示氣候變遷情境設定及氣候相關資料蒐集與分析之實際操作過程，並納入專家工作坊與 NCDR 專家共同討論意見，示範案例演示成果請見報告第五章。 (2)為引導實務規劃人員操作「氣候變遷情境設定」，指引檢討後新增「氣候變遷相關資料蒐集與分析方法」詳見附冊第 4.4 節。	同意
交通部高速公路局彭副局長煥儒		
1.本計畫若要將調適指引推廣至基層應用，建議名詞部分應清楚說明與定義，例如防災與調適之差異、NbS 與生態工法之差異等，否則基層人員無法分辨與目前辦理業務之差異。	(1)期末階段已針對指引名詞解釋加強說明，採氣候變遷因應法暨相關子法、環境部氣候變遷名詞手冊以及其他具公信力的國際機構之定義（如 IPCC、ISO 等），且必要時採公路規劃觀點加註解，詳見附冊第 1.2 節。 (2)另有關調適與防災觀念之不同及 NbS 觀念介紹等，所內 112-113 年刻另案辦理調適課程規劃與教育訓練，期能強化調適觀念推廣。	同意
2.調適指引定位應明確，即其係為程序面或實際操作面指引，關乎指引的撰寫內容；此外，實際將氣候變遷調適納入契約規範後，應編列多少經費預算執行、完成後應找	指引定位為框架層次指引，後續建議公路主管機關研擬各自細部的實務操作手冊，以利於協助機關編列經費預算及執行。	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
誰擔任審查委員等，建議應通盤考量。		
3.建議團隊確認既有設施是否包含在研究範圍內?既有設施除了維護以外，尚包含改建部分。	指引適用於公路系統新建及改建之規劃階段，相關內容詳見附冊 1.1 節。	同意
逢甲大學運輸與物流學系劉教授霈		
1.由於鼎漢團隊已執行本計畫多年，因此團隊應有能力與資格擔任調適專家顧問，針對公路總局建議執行一個示範案例，後續在氣候情境設定、風險評估等等各方面應如何操作，請團隊提出更具體的建議。	本計畫以「西濱曾文溪橋新建工程綜合規劃」案做為公路調適指引示範案例演示，並已於 112 年 10 月 12 日上午召開專家工作坊討論，討論內容包含氣候情境設定、氣候資料應用、風險評估等各方面實際操作議題，示範案例演示成果請參見報告書第五章。	同意
2.調適工作實際推動過程當中，會遇到哪些跨部會溝通相關的事情，遇到後應如何處理，期許鼎漢團隊能夠提出更加具體的建議。	期末階段透過公路調適指引示範案例演示經驗，配合實務面操作需求新增（氣候變遷風險評估）前置作業，參考 ISO14091 的指導在執行「氣候變遷風險評估」作業前，先盤點利害關係人(如機關、團體)並組成氣候變遷調適工作小組，以利推動後續跨部會溝通相關事宜。	同意
3.後續實際操作案例部分，建議可以考量南橫公路或與公路總局討論其他適合的案例，由工程顧問公司實際執行後才能夠更加瞭解調適指引之實際應用可行性。	本計畫配合公路局選定之研究示範案例「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」，於指引架構下透過該案例試操作氣候變遷風險評估三階段作業流程。請參見報告書第五章。	同意
國立高雄科技大學土木工程系蘇助理教授育民		
1.有關研究範圍部分： (1)本計畫的題目是「公路系統因應氣候變遷強化調適能力案例研析」，計畫主要目的是針對公路系統強化調適能力案例，進行蒐集與研析，並且將調適指引應用建議給公路主管機關參考，俾利其務實檢視與調整規劃設計階段之相關法規與規	(1)針對本計畫名稱是公路系統，內容卻有許多軌道、海、空等運輸系統之描述，係由於本計畫之工作項目要求除了公路系統調適指引實務應用案例研析之外，另含運輸系統調適發展方向及趨勢等工項，詳見 1.2 節。 (2)本計畫研究範圍之「公路系統」，主要係以交通部所管之國道、快速公路以及省道等公路系統為主。因	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
範，強化公路系統整體調適能力。 (2)研究範圍與工作項目並非僅「公路系統」，且目前期中報告文中包含國道、快速公路、省道、高速鐵路、臺鐵、商港，以及國際機場的運輸系統，在研究範圍是否合理?對於目前以及未來的研究成果是否失焦?建請補充說明， (3)雖然理解道路系統因定位不同，所轄單位也不同，然而氣候變遷可能造成的影響範圍，包含對於與人民切身接觸的市區道路、縣/市道、鄉道、山區產業道路等等，是否才應該是本計畫可以更真正深入探討與觸及的「公路系統」與「案例」?缺乏探討面積跟里程占比近半的市區道路，事實上也很難落實本計畫長期以來希望達成的效果。 (4)國道、省道、快速公路同樣有很多深入各地市區的情況，因此這部分不論是交通部所轄的新工單位或是內政部營建署的新工單位，都有機會使用得到前期完成的指引，建議座談單位可以增加內政部營建署道路組以及六都的新工單位。	考量國內可參考之公路系統實務案例較少，爰將已有實績之國際機場運輸系統納為參考對象，蒐整其風險評估與調適措施等機制，並做為後續研擬通用型運輸系統調適指引之參考。詳見 1.3 節。 (3)本計畫研究範圍主要聚焦於交通部所管之公路系統，雖未包含營建署所管轄之市區道路及縣鄉道等道路系統，惟研究成果之部分機制與方法，包含山區道路或臨海道路等，仍可提供該等道路系統主責機構依現地特性並參採 TCCIP 之科學數據進行參考應用。指引之適用範疇補充說明，詳見附冊 1.1 節。 (4)前期計畫研擬指引過程辦理之工作坊及座談會，已邀請內政部營建署及經濟部水利署共同討論。本期更聚焦於公路機關（高公局及公路局）對於指引之應用建議，故透過機關交流及深度訪談，納入公路設施權責機關之需求，並將指引修訂改版。	
2.目前的文獻回顧與前期計畫是否有重疊的部分?哪些是最新的文獻以及回顧的成果?建請補充說明。	感謝委員意見，期末階段已於報告書第二章補充說明前期計畫(111 年)與本期計畫文獻回顧成果以利區別。	同意
3.表 2.4-1 僅有兩件與公路系統相關，其餘為鐵路系統，報告書第 2.4.2 小節僅有公路總局二工處與高公局兩個案	第二章針對「蒐集國內外運輸系統氣候變遷調適相關文獻」工作項目，內容包含運輸系統調適發展方向及趨勢等，研究範圍詳見報告書第 1.3 節。	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
例，其餘為鐵路、機場、以及商港。本計畫研究應加強鎖定於公路系統，而非運輸系統，建議需要進一步釐清研究目的與範圍。		
4.報告書第三章目前內容似乎仍然為文獻回顧，與第二章的差別是否釐清?相較前期研究，是否係蒐整最新文獻?建請補充說明。	(1)第二章針對「蒐集國內外運輸系統氣候變遷調適相關文獻」工作項目，內容包含運輸系統調適發展方向及趨勢等；第三章則針對「公路系統規劃階段調適指引實務應用案例蒐集與研析」工作項目，聚焦在公路系統，研究範圍詳見報告書第 1.3 節。 (2)感謝委員意見，已於報告書第二章各節補充說明前期計畫（111 年）與本期計畫文獻回顧成果以利區別。	同意
5.目前案例中僅為歐美各國，在東亞地區包含中國大陸、日、韓、東南亞等國是否有相關的案例以及類似的指引可供參考?建請補充說明。	本計畫目的係蒐集先進國家調適發展趨勢，做為國內各運輸系統權責機關辦理調適業務之參考。有關東亞地區，前期計畫已介紹日本 JICA 氣候風險評估及調適指引，本期計畫因聚焦在「運輸系統調適發展趨勢」故無摘錄該指引。	同意
6.報告書第 3.2.4 小節引用桃園機場跑道跟基礎建設的案例是否合理?因為此案例應該屬於運輸系統，而非公路系統。建議考量回到本計畫的研究目的與研究範圍中進行進一步考量。	由於國內公路領域尚缺乏相關調適案例可供參考，因此探討同為運輸系統領域之桃園機場跑道跟基礎建設案例經驗做為典範轉移。配合本計畫之研究目的，期末階段已新增第五章公路系統規劃階段調適示範案例。	同意
7.目前國家幾項重大建設，包含國道 7 號、高屏-屏東間東西向第二條快速公路、屏南快速公路、蘇花安，以及台 61 延伸等等規劃設計單位，是否有接觸以及將前期的調適指引導入?或是進行訪談?建請補充說明。	前期計畫已安排 4 場公路專家深度訪談，其中 111 年 6 月訪談世曦公路實務規劃專家，其具有蘇花安計畫經驗，共同探討公路指引架構內容是否可行，並於 111 年 10 月參與專家座談會針對指引提供建議據以研擬指引初稿。	同意
8.氣候變遷調適與生態檢核、碳盤查、減輕環境影響衝擊	本計畫之目的及工作範圍為「氣候變遷調適」，計畫目的及研究範圍請參	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
範圍也許有重複，然而真實定義不一定相同，建議需要確立計畫目的跟工作範圍。	見報告書第 1.2 及 1.3 節。	
9.臺灣氣候變遷與極端氣候的型式建議是否可以先整理出來，再以目前的建議的調適策略與現行的工程規劃、新工、或是養護的策略是否有異同之處?建請補充說明。	(1)前期計畫已依據臺灣氣候變遷科學團隊發表之《臺灣氣候變遷科學報告 2017-衝擊與調適面向》及交通部統計要覽交通天然災害概況之統計資料，彙整臺灣公路系統面臨的氣候壓力，包含強降雨、高溫、強風、暴潮/風浪及海平面上升。 (2)指引建議於公路規劃階段採系統性方法融入調適作業，首先依據國內未來氣候變遷情境，執行氣候變遷風險評估，據以研擬調適選項。其中，與現行工程規劃最大的不同之處，在於將未來氣候變遷情境納入規劃考量，先盤點風險缺口後研擬調適選項。	同意
國家災害防救科技中心陳組長永明		
1.交通部相關單位不論實務界還是學界，在討論氣候變遷調適時都能夠很快聚焦在問題點，許多部會還在討論說為何要做氣候變遷調適，因此這點非常的不容易。	感謝委員肯定。	同意
2.本計畫文獻整理已經相當充足,建議可再往前跨一步,因此非常同意會中委員提議，進行實際案例操作；調適需集眾人之力，本中心目前正協助國科會統整國內科學資料(含氣候情境)及環保署研擬風險評估作業準則，過去已與農委會、水保局、水規所等單位合作過實際案例操作，未來若有挑選實際公路規劃案例進行操作，希望能夠邀請本中心一同參與合作討論。	配合期末階段公路局選定之公路示範案例演示「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」，已於 112 年 10 月 12 日辦理專家工作坊進行討論以驗證指引操作流程之可行性。該專家工作坊邀請 NCDR、公路局、高公局及工程顧問公司等針對調適作業階段演示給予建議與指導。專家工作坊意見綜整詳見報告書第 4.3 節。	同意
3.科研生態圈強調相關部會實際執行風險評估與調適的重要性，如水利署、農委會、交	(1)期末階段已透過公路示範案例演示氣候變遷情境設定及氣候相關資料蒐集與分析之實際操作過程，	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
通部等，各部會如何往下操作氣候變遷風險評估才是關鍵，需回到業務主管機關需求有利於資料後續應用，然而國科會與本中心提供之氣候資料，實際應用到各部會確實還存在一段落差需要補足或修正，這部分本中心也與農委會及水保局進行實際案例來討論。	並納入專家工作坊與 NCDR 專家共同討論意見，示範案例演示成果請見報告書第五章。 (2)由於目前國科會提供之氣候資料實際應用到各部會確實還存在一段落差，為引導實務規劃人員操作「氣候相關資料蒐集與分析方法」，指引檢討後新增「前置作業」專章並納入「蒐集氣候變遷相關資料與分析方法」，詳見附冊第四章。	
4.未來國科會與環境部將共同成立國家環境研究院，推動科研協作平臺，由各部會盤點各自之科研需求及缺口、方法等，於平臺上進行資料共享與交流，並目標於 115 年中程綱要計畫提出調適科技方案，針對各部會所盤點關鍵的科研缺口，提供相關經費協助。	敬悉。	同意
5.名詞解釋建議可參考氣候變遷因應法與環保署氣候變遷名詞手冊。	期末階段已針對指引名詞解釋加強說明，採氣候變遷因應法暨相關子法、環境部氣候變遷名詞手冊以及其他具公信力的國際機構之定義（如 IPCC、ISO 等），且必要時採公路規劃觀點加註解，詳見附冊 1.2 節。	同意
財團法人臺灣省土木技師工會		
1.報告書第 1.1 節第 1-2 頁，本報告之主要目的是提供公路系統規劃階段調適指引，是否只探討公路系統新建工程規劃階段的調適指引，針對既有公路系統設施的改善或養護作為是否也可一體適用，請釐清說明。	欲提升公路系統之氣候變遷調適能力，於規劃階段即應以全生命週期觀點儘量周延盤點規劃、設計、施工及後續的養護管理各階段的氣候變遷調適需要，以達到最大調適的效果。因此，指引內容所引介之調適理念及方法可廣泛應用於公路系統設計、施工及維護管理等各階段之氣候變遷調適工作，詳見附冊 1.1 節。	同意
2.報告書第 2.3 節第 2-27 頁，有關先進國家運輸系統調適策略及措施，報告中提到蘇格蘭、愛爾蘭、美國、澳洲、紐西蘭，地理位置與環境與臺灣相近的日本卻沒有相關	感謝委員建議，前期計畫已彙整日本政府於 2021 年發布《氣候變遷調適計畫》調適策略及日本獨立行政法人國際協力機構訂定之《氣候風險評估及調適指引》，本期第二章因聚焦在運輸系統惟目前日本政府近期尚未發布	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
參考資料，建請補充說明。	針對運輸系統之氣候變遷調適策略，故暫無補充。	
3.報告書第 2.3.2 小節第 2-39 頁，美國聯邦公路管理局以自然為本的解決方案，跟 20 年前國內公共工程推動的生態工程是否類同，當時國內也有編定了相關的「生態工法技術參考手冊」，曾經在邊坡穩定工法或水土保持工法上被廣泛應用，後來卻慢慢不被採用，其中個人經驗在同一條公路上邊坡採用硬保護的擋土牆工法可以安然度過颱風洪峰的考驗，採用打樁編柵工法的邊坡卻成了土石流的破口。所以針對 NbS 有以下建議： (1) NbS 建議可適度採用混合方法，報告中有說明。 (2) NbS 特性若採用混合工法，NbS 所需經費未必是「等於或低於一般工程工法的成本」。	感謝委員經驗分享，由於第二章為國外文獻回顧，第 2.3.2 小節為引述 FHWA 發布之文件內容。部分內容若與國內國情不符，建議後續依據國內本土經驗，編定國內調適相關的技術參考手冊，以符合國情。	同意
4.報告書第 2.4.2 小節第 2-48 頁，近期運輸系統調適新科技應用的案例，報告中提及臺鐵 AI 軌道巡查、公路總局的無人機橋梁檢測、高公局的 IoT 風雨霧偵測、機場的 IoT 感測器監控排水及跑道狀況、港灣導入 5G 及 AI 監測港口狀況等 5 種案例，惟本報告主題在公路系統，5 種案例只有 2 種公路系統案例可供參考，可否蒐集更多有關公路系統的案例，例如：高公局與中央大學有發表過國道鋪面影像檢測系統、公路邊坡的自動監測系統、雷射隧道斷面掃描儀等。	遵照辦理，已依據委員意見補充公路相關之新科技應用於調適案例，詳報告書第 2.4.2 節。	同意
5.報告書第 3.1.1 小節第 3-3	(1)感謝委員提點，第 3.1.1 小節係說	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
頁，公路規劃階段調適案例蒐集範疇界定，其中（5）臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺（TCCiP）有許多資料可供參考，另外國家災害防救科技中心「氣候變遷災害風險調適平台」網站上資料更為實務更有參考性，例如氣候變遷災害風險圖建議納入報告研究。	明本章節之案例蒐集參考來源，因此列舉 TCCiP 平台。 (2)另有關「氣候變遷災害風險調適平台」網站雖無提供調適案例，但具有實務推動上執行氣候變遷風險評估參考工具之價值，已補充於附冊 4.4 節氣候變遷相關資料蒐集與分析方法，並應用於報告書第五章之示範案例中。	
6.報告書第 3.1.2 小節第 3-3 頁，本報告蒐集的參考案例豐富，按氣候變遷的「情境選擇」、「風險評估」、「調適選項」分類，並將各案例的重點摘錄值得肯定。	感謝委員肯定。	同意
7.報告書第 3.1.2 小節第 3-3 頁，依據「氣候變遷災害風險調適平台」網站上資料臺灣位處全世界天然災害高風險地區，由災害種類來看，颱風災害占 66%的災害事件，水患/水災占 22%，地震災害占 8%，其他災害類型佔 4%，本報告所選擇的國外案例大部分是海平面上升的案例，與臺灣地區實際所面臨的災害較為不同，建議可再多補充有關本地災害的案例。	國外沿海公路案例多綜合考量海平面上升以及極端降雨事件(如颱風)造成之暴潮等氣候壓力，以評估所帶來之淹水衝擊，如報告書第 3.2.1 小節重點案例研析之沿海公路案例，而第 3.2.2、3.2.3 小節之內陸公路及山區公路，亦為在極端降雨事件下評估內陸淹水及山區土石流之相關案例，尚與臺灣實際所面臨之災害類型相近，請參見報告書第 3.2 節。	同意
8.報告書第 3.2 至 3.3 節第 3-49 頁，公路規劃階段調適重要案例研析中提供了 3 個案例，在 3.3 節國內可借鏡之處將氣候變遷調適選項統整，將 3 個案例的調適選項節錄，建議可以提出更具體的研析方法以提供公路系統參與的相關人員參考。例如在 4.2 節表 4.2-1 中公路機關及專家所提供的建議，都是很務實的方法。	本計畫第三章國內外案例蒐集與研析，係透過廣泛蒐整國內外公路調適相關案例，梳理出可供國內借鏡之處。有關更為具體之相關研析方法，期末階段已透過示範案例步驟演示以供公路系統參與之相關人員參考，相關成果詳見報告書第五章。	同意
9.報告書第 3.3 節第 3-49 頁，	(1)指引定位為框架指引，後續建議主	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
因應氣候變遷導致災害風險升高，而災害風險大小取決於危害度、暴露度、脆弱度及調適能力等因素，本報告著重在強化調適能力並建議將氣候調適納入契約當中，將氣候調適考量具體納入專案契約，必須敘明契約的具體內容及另外提列相關經費，請補充說明。	管機關研擬各自細部的實務操作手冊，以利於協助機關編列經費預算及執行。 (2)建議可參考指引修訂後增補之公路系統規劃階段調適指引，於第三章機制流程部分增納之三階段基本要求，提列相關經費部分已於報告書第 3.3 節補充相關說明。	
交通部高速公路局		
1.報告書第二章，部分引用之圖資模糊、圖例不清，有些有中文，有些無；多數路線未標示編號，而且資料來源之登載格式不一，有些未敘明年份。另有些資料來源為臉書及報載資料，應確保資料之正確性。	(1)感謝委員提點，第二章資料登載格式不一係因參考來源有網站及文獻等不同資料來源故格式不同（網站會特別註明最後檢視日期）。 (2)已修正第二章模糊圖資。 (3)圖 2.4.3 及圖 2.4.4 資料來源是交通部公路局官方臉書發布影片之內容、圖 2.4.5 所提報載資料為訪談高速公路局時提供口頭資訊後網路搜尋，暫無取得官方提供資料。	同意
2.報告書第二章 2-50 至 2-51 頁，有關高速公路局引入 IoT 風雨霧偵測站相關敘述： (1)本局與中央氣象局合作建置天候偵測器（風雨霧偵測器），非採 IoT 方式傳輸，建議刪除 IoT 文字。 (2)「...交通資訊顯示板提醒用路人注意周邊路況...」建議「交通資訊顯示板」修正為「資訊可變標誌」。 (3)「天候不佳時的肇事率遠高於一般肇事率的四到六倍…」，請提供數據依據來源。	(1)報告書第 2.4 節已刪除 IoT 文字。 (2)報告書第 2.4 節已修正為「資訊可變標誌」修正為「資訊可變標誌」。 (3)報告書第 2.4 節數據來源為國外學術期刊網站 ScienceDirect 收錄之論文，為避免造成疑義內文已刪除相關數據。	同意
3.報告書第 3-47 頁，圖 3.2-17 第三跑道請標示 05 端及 23 端位置。請說明 5.（3）所述採高設計標準或保留餘裕以因應氣候風險並持續監測氣	第三跑道標示部分已修改於圖 3.2-19，詳見報告書第 3.2 節。由於目前採取提高設計標準或保留餘裕之方式因應氣候風險，然因氣候變遷之不確定性，應持續監測氣候狀況，而機場停	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
候，與機場停止營運之關聯性。	止營運為其中一項重大氣候衝擊發生時之調適因應作為，用意為降低損害發生機會。	
4.報告書第 4-6 頁，表 4.2-1 公路機關國內案例：桃園國際機場第三跑道（民航局交由高公局代辦），「民航局」請修正為「桃園國際機場股份有限公司」。	感謝委員提醒，報告書表 4.2-2 已修正為「桃園國際機場股份有限公司」，參見報告數第 4.2 節。	同意
5.依據 ISO14093 氣候變遷地方調適計畫融資機制，以及本報告第 3-11 頁所述內文，均提及成本效益分析之重要性，考量氣候變遷調適成功與否，其中經濟效益及財務評估甚是關鍵，故於現階段公路系統規劃作業流程，建議融入該調適機制。	感謝委員意見，調適實務上有必要輔以成本效益分析選擇調適選項，但由於國內目前量化資料較為缺乏，現階段分析方法及資料取得均待解決，目前建議暫不納入調適機制，待後續國內調適相關研究成熟後再行評估。	同意
6.建議將 ISO14090 氣候變遷調適-原則、規定與指引及 ISO14091 脆弱度、衝擊與風險評估指引，納入公路系統規劃階段調適指引之導讀章節。另建議調適指引可納入氣候變遷調適之國內、外經典案例，提供公路機關參考。	ISO14090 及 ISO14091 非針對公路系統，屬通用型準則，且該標準內容需購買，直接引用尚有版權疑慮。指引依循 ISO 國際氣候變遷調適之觀念，針對公路系統做更適切之重點說明，以利機關參考。	同意
7.「公路系統規劃階段調適指引」之名稱，建議修正為「公路系統規劃階段之氣候變遷調適指引」更為妥適。	感謝委員意見，已配合修正為「公路系統規劃階段之氣候變遷調適指引」，請參見附冊封面。。	同意
交通部公路局		
1.目前機關辦理可行性研究及綜合規劃之方式均委外辦理，爰建議蒐集顧問公司對「公路系統規劃階段調適指引」之意見。	感謝委員意見，期中階段已訪談工程顧問公司 6 位公路專家，期末階段亦邀集 6 位公路專家及公路機關，透過示範案例專家工作坊演示過程，蒐集公路機關及工程顧問公司對「公路系統規劃階段調適指引」之意見，詳見報告書第 4.3、4.4 節。	同意
2.建議在「公路系統規劃階段調適指引」，補充可行性研究	已於指引第章三補充可行性研究及綜合規劃各階段之基本要求事項。	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
及綜合規劃各階段之建議辦理事項。		
本所運輸技術研究中心		
1.報告書 2.4 節新科技應用於運輸系統調適情形，以目的而言，調適是以較長時期的觀測尺度去蒐集資訊並對未來進行預測和風險評估，惟本節介紹許多新科技應用例如：UAV 橋檢、AI 影像分析等，相關應用單位似乎是以日常巡檢和災防應變做目標考量，是否和調適有直接關聯可再斟酌納入。	感謝委員意見，因氣候變遷調適多適應用既有科技，除非在氣候科學等方面。因此在新科技蒐集部分才會將適用範圍之定義放寬，納入部分預警應變等科技應用。	同意
2.其中新加坡樟宜機場案例較為符合，建議團隊若國內無調適新科技應用案例，建議可用一至兩個國內外針對氣候變遷調適為目的使用新興科技的案例進行介紹，俾使相關機關構有更清楚的認知。	(1)新增「中央大學與日本合作研發人工智慧鋪面狀況調查車案例」，參見報告書第 2.4 節。 (2)新增「歐盟資助 GIMS 邊坡監測系統案例」，參見報告書第 2.4 節。 (3)新增「東日本旅客鐵道公司使用雷射裂縫測量系統檢測隧道案例」，參見報告書第 2.4 節。	同意
本所運輸能源及環境組		
1.本計畫設定規劃階段，係因考量應在規劃階段做到防範，然而計畫執行過程有專家學者建議公路全生命週期皆應納入考量，因此前期計畫作法為,在營運、維護等階段針對能夠在規劃階段提前考量的,就儘量納入處理;此外，有關既有設施是否為本計畫研究範圍部分，既有設施改建也在本計畫討論範疇中。	敬悉。	同意
2.今日最大共識為找尋一個實際案例進行操作示範，以免案例蒐集成果最後變成泛泛空談，且本計畫公路機關訪談單位尚缺乏公路總局，因	遵照辦理，配合期末階段公路局選定之公路示範案例「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」，已於 112 年 10 月 12 日辦理專家工作坊進行討論以驗證指引操作流程之可行性。該專家工作坊	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
此運研所與團隊後續將與公總討論實際案例的挑選與操作。	邀請 NCDR、公路局、高公局及工程顧問公司等針對調適三作業階段步驟演示給予建議與指導。專家工作坊意見綜整詳見第 4.4 節。	
3.針對調適與防災觀念之不同，顯示觀念推廣與教育訓練的重要性,本所 112-113 年刻另案辦理調適課程規劃與教育訓練，事前需瞭解各公路單位之現況與需求，請公路總局跟高公局同仁幫忙填寫問卷，以利後續該案之教育訓練課程設計。	敬悉。	同意
4.針對本計畫主題是公路系統，內容卻有許多軌道、海、空等運輸系統之描述，係由於本所氣候變遷調適相關計畫經費有限，因此除了本案重點的公路系統調適指引外，也請團隊協助整理國際運輸系統的新趨勢跟新科技。	敬悉。	同意
5.氣候變遷調適行動方案經環保署召開公聽會等蒐集意見後，請團隊針對行動方案提出修正建議，提供相關部屬機關參考。後續本所將適時於交通部氣候變遷減緩與調適推動小組會議中，建議相關部屬機關強化所提之行動計畫。	遵照辦理，已更新為「維生基礎設施領域氣候變遷調適行動方案（112-115）」。	同意
6.針對報告書之書面審查意見如下： (1)報告書第 1.1 節計畫緣起與目的第 1-1、1-3 頁,有關「國家氣候變遷調適行動方案（112-116 年）」草案，業經國家發展委員會 112.3.24「規劃推動氣候變遷調適政策綱領及行動計畫」專案小組第 26 次會議決議，除	(1)遵照辦理。 (2)本計畫摘錄 IPCC AR6 綜整適用於運輸系統的調適選項並列舉海島國家應用範例，係因為臺灣亦可適用其列舉之海島國家調適應用方法。另於報告書第 2.3.2 節補充調適措施的成本效益說明以及 NbS 運用於運輸系統之案例說明。 (3)本計畫蒐集國外在面臨與臺灣相似之氣候衝擊下所採用之氣候情	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
依法調整計畫名稱及計畫年期為「國家氣候變遷調適行動方案（112-115 年）」(以下簡稱行動方案)，有關本期中報告之行動方案，請更名為「國家氣候變遷調適行動方案（112-115 年）」。 (2)報告書第 2.3.2 小節運輸系統調適選項第 2-37 頁，團隊於期中報告表示 IPCC AR6 對於運輸系統的調適選項主要有四大類，其中針對以自然為本的調適方法，僅敘明在海島國家已有充分的證據顯示實施以自然為本的調適方法可有效因應氣候風險，惟無再往下探究係以何種 NbS 較具效益。建議團隊能再就 NbS 在非海島國家之作法及其成效再予補充。 (3)報告書第 3.1.2 小節公路規劃階段調適案例清單及重點摘錄第 3-3~3-10 頁，團隊所選擇之參考案例，包含情境選擇參考案例、氣候變遷風險評估參考案例、氣候變遷調適選項參考案例等，請補充敘明為何挑選該等案例之理由，以利讀者閱讀。 (4)報告書第 3.2.1 小節美國聯邦公路管理局（FHWA）之沿海公路調適案例第 3-23 頁，有關表 3.2-5 研究區域潛在調適選項範例表，其中針對右下象限之低風險承受/高投資水準（長期），團隊敘明「提高公車運量」。建議團隊就此項目再補充說明其原因及成效。 (5)報告書第 3.2.2 小節荷蘭交	境、風險評估及調適選項，並盡可能涵蓋不同面向之案例（如環境區位條件、災害類型），例如國內以強降雨為主要面臨之氣候壓力，而強降雨常常引發低窪地區發生淹水及山區邊坡土石崩落等情事，詳見報告書第第 3.1 節。 (4)案例原文並未詳細說明原因及成效，初步推斷針對封閉、坍塌路段，常需要安排規劃替代道路，以維持兩地緊急通行之需求，而提高公車運量係為減少車流量，降低緊急通行需求癱瘓交通之可能性。 (5)遵照辦理，國外案例研析擬全面檢視並補充說明措施與調適之關聯性。該項調適措施原意應為降低外側（緊急）車道高程，減少降雨發生時主要車道積水之可能性，以減少積水噴濺及水霧，已修正表 3.2-6，詳見報告書第 3.2 節。 (6)案例原文僅針對長期分階段邊坡補強計畫及建置攔截溝進行說明，並未提及其他有關 NbS 之相關措施。 (7)遵照辦理，配合期末階段公路局選定之公路示範案例「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」，已於 112 年 10 月 12 日辦理專家工作坊進行討論以驗證指引操作流程之可行性，示範案例成果請參見報告書第五章。	

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
通水利管理局（RWS）之內陸公路調適案例第 3-30 頁，有關表 3.2-6 應對主要氣候風險之可能的調適措施列表，針對道路積水噴濺和水霧而降低行車安全之氣候風險中提及降低緊急車道，該項說明似語意不清，請再予補充其意涵。 (6)報告書第 3.2.3 小節美國維吉尼亞州運輸部（VDOT）之山區公路調適案例第 3-39 頁，依團隊所述之行動方案，包含長期分階段邊坡補強計畫，或是建置攔截溝，是否有其他 NbS 之相關措施?請補充說明。 (7)報告書第五章後續執行重點第 5-1 頁，考量本案最終仍須與「公路系統規劃階段強化調適能力之探討-強化調適能力作為與指引」相扣合，請團隊提供適切案例研析並融入前開指引，相關說法與做法宜力求淺顯易懂，以利基層同仁能夠閱讀。		

2.2 期末審查

一、時間：112 年 12 月 1 日（五）下午 3 時 00 分

二、地點：交通部運輸研究所 10 樓會議室

三、主持人：蘇振維副所長（陳其華主任秘書代）

四、審查意見回復表

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
國家災害防救科技中心氣候變遷組陳永明組長		
1.建議蒐集國內外氣候變遷調適案例時，應注意其是否適合做為參照，如國外案例採用何種評估方法及其成效，更能有效提供國內參考。	(1)感謝委員提點，由於國內公路領域尚缺乏調適實務案例，故本計畫於期中階段摘錄國內調適案例之桃機第三跑道計畫期能做為國內典範轉移。但由於該國內案例於調適三階段之連結較為薄弱，為有利於國內參照，故於期末階段增加國內公路示範案例演示章節，請參見報告書第 5.1~5.3 節。 (2)本計畫國外案例蒐集範疇依國內公路區位屬性，分為山區公路、沿海與內陸公路案例，為有利於國內參照，案例整理方式以摘錄與臺灣面臨相似的氣候衝擊條件下，其評估方法及成效，參見報告書第 3.2 節。	同意
2.《氣候變遷因應法》第 18 條第 3 項：「前項氣候變遷風險評估之作業準則，由中央主管機關會商有關機關定之。」該作業準則環境部預計明年頒布，本案指引未來如何與其扣接可先思考。	感謝委員提點，已將委員意見納入報告書後續推動建議：說明指引應配合調適相關法規滾動檢討並更新，並建議公路主管機關配合調適作業需求提出相關細部作業配套工具，以確保指引內容可與時俱進，參見報告書第 6.2 節。	同意
3.針對報告書第五章示範案例之建議： (1)該案例為演示性質而非實務操作之完整案例，尚需考慮放入指引附錄做為參照之合適性。 (2)該案例目前蒐集之水文資	(1)感謝委員建議，將於指引加強說明案例之演示性質，並建議於後續持續辦理國內公路調適實務案例後，滾動檢討指引及示範案例，參見附冊附錄及報告書第 6.2 節。 (2)透過文獻回顧瞭解各國亦正在研討各部門如何提供氣候資料服務	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
料為國科會模擬之大尺度資料，非針對公路系統故其資料尺度及細緻度在評估應用上若有不足，建議未來各主管機關應根據其個案需求進行資料加值，並加強跨部門的資料整合以利後續調適工作推動。	之議題，然而國內氣候變遷相關資料目前由國科會持續產製中，相關適用於公路之氣候推估資料亦有限；目前示範案例盡量利用公開且易取得的資料進行操作，但若不易取得之資料亦會加註說明資料缺乏時之處理作法。	
交通部高速公路局彭副局長煥儒		
1.針對氣候變遷公路系統調適國內外都正屬於研究或示範等發展階段，運研所及研究單位辛苦的蒐集相關資料及製作給實務單位參考的作業指引，值得肯定。	感謝委員肯定。	同意
2.現在較重要的課題是實務單位及相關承辦人員及設計顧問公司，如何進行實際導入相關案件中，因此建議有更明確、簡單的實務性作法或案例供作業時參考。	本次改版係依據與公路機關及公路專家深度訪談後之意見檢討修訂，並配合實務單位需求調整示範案例內容以提高其實務應用引導功能，請參見報告書第 4.2~4.3 節及第五章。	同意
3.案例中建議多利用已辦理之案例進行說明，是否有類似國內水利單位推動情形可供參考，並建議相關案例應搭配目前規劃的調適分析步驟，逐一步驟分析說明，才會讓公路從業人員有所依循。	本計畫透過其他領域機關訪談，蒐整能源部門、水利部門及工業部門之調適指引推動經驗，並應用於本計畫調適指引之滾動檢討，相關成果參見報告書第 4.2 節。由於國內公路領域尚缺乏調適實務案例，因此本計畫透過示範案例演示調適指引之調適分析步驟，相關成果參見報告書第五章。	同意
4.報告中有提到公路局示範道路，為相當好的作法，建議相關作業流程外，可彙整實際進行調適的項目及作法，以供其他公路單位參考。	感謝委員提點，有關公路局示範案例之調適項目及作法，可參見於報告書第五章。	同意
5.建議本案附冊中針對公路系統可列出辦理調適之流程圖，可比照第 2-15 或 2-18 頁等，將其最上位氣候調適作業，從最初始作業（從資料蒐	遵照辦理，已於指引第一章補充使用者導向的章節應用索引圖，針對公路規劃過程中各階段建議導入之調適作業、程序及方法依序標示可參閱之章節位置，以利使用者參照，	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
集、脆弱度評估、風險評估、調適方法…等)，逐步作業的流程圖，以利實務有明確辦理流程參考；目前附件的(附冊）調適指引仍為分章及分節敘述，較難有整體性之印象。	詳見附冊第 1.5 節。	
6.有關以自然為本的解決方案（NbS)，所蒐集的資料大多為沿海公路相關海岸線因應氣候變遷可能海平面上升等之因應作法，是否可增加對一般公路的考量蒐集應用案例。基本上目前案例大多為國外臨海公路，其必然會有許多空曠區已實施目前所建議的植栽、養灘或相關保護等，國內地狹人稠，是否可應用該等自然解方（NbS）？	國外臨海公路案例亦可適用於國內公路。由於臺灣四面環海，國內沿海公路如台 9 線同樣面臨海岸線逐漸退縮及海岸路基掏刷問題。實務上公路局過去曾將南迴公路新建草埔隧道時產生的大量砂石，運置海岸淘刷情形嚴重的大武漁港以南海岸進行人工養灘，以避免該路段路基流失，該人工養灘歷經尼伯特等颱風的考驗仍見成效。	同意
7.建議研究單位協助檢視並說明那些規範須修訂，並有作業手冊供實務單位參考辦理。	目前交通部部頒之道路規範多係針對設計，檢討改版多因實務作業之經驗回饋，前期研究曾針對相關設計規範進行初步檢視，考量本研究尚無涉及設計層面，已提醒各主管單位應本於權責針對氣候變遷調適進行通盤檢討。 本指引屬框架層次的指引，作業手冊建議透過國內調適示範案例之實務操作，累積一定的本土調適經驗與知識後，再彙整研擬為妥。	同意
8.雖然本研究強調新建或改建的道路，但實質上現階段面臨的課題為「如何提升既有公路設施對氣候變遷的調適（或說韌性）」，因此仍建議提供針對既有道路的維護或補強方面做探討及提供相關資料。以近期蒐集的美國(加州運輸署）其對既有的設施會進行盤點，再區分優先順序進行必要的補強與調適；	從文獻回顧得知美國於進行氣候變遷調適時，亦優先針對既有設施進行缺口盤點。因此認同針對既有設施進行考量之重要性，惟本計畫之命題是針對公路規劃階段，前述盤點工作工作量龐大，建議另案辦理。	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
在調適方法上則採用提高安全係數（例如重現期提升等）。		
9.氣候變遷公路的主要課題為暴雨、強風與溫度等，較會受影響的設施為橋梁、邊坡及路面等，針對這些主要項目，有相關新建工程、設計或維護時，就其因應氣候變遷提供相關調適作法及案例。	(1)本指引屬上位框架，主要適用於新建及改建之規劃作業階段，欲提升公路系統之調適能力，於規劃階段即應以全生命週期觀點考量，故本指引所提之調適理念及方法可廣泛適用於設計施工及維護管理等階段。 (2)有關氣候變遷下公路系統的主要課題，指引已整理國內外相關案例，針對其所面臨之衝擊與採行之調適選項進行彙整。	同意
10.建議將因應調適作業所可能衍生的財務需求納入，以利實務單位可運作。	本指引為框架指引，主要目的係引導機關納入調適作業之用。由於實務操作所衍生的財務需求依個案而異，建議機關將相關工項及經費納入標規內容，相關建議事項已補充說明於報告書第 4.5 節與第六章。	同意
11.風險評估之重點在參數評分，有如一般風險評估於採取相關措施前與採取後之「可能性及嚴重度」會有所改變（降低），建議將採取相關調適措施後相關公路設施脆弱度、暴露度….等改變情形，亦請納入說明。	考量公路規劃實務推動之涵蓋可行性評估、綜合規劃等階段，且各階段時間有限，若在可行性評估階段同時執行氣候變遷風險評估、評級及採行調適策略後之評級恐影響專案時程，因此建議將其可行性評估階段之氣候變遷風險評估結果納入綜合規劃階段考量，並將綜合規劃階段評估結果納入設計階段進行考量。	同意
交通部公共運輸及監理司林福山司長		
1.對於公路系統氣候變遷調適而言，仍處於建立架構及觀念之階段，因此針對運輸研究所及鼎漢團隊已開始修訂調適指引之行為予以肯定。	感謝委員肯定。	同意
2.氣候變遷調適十分重要，所內於擬定公路調適指引後建議後續應大力推廣，使其得以落實，如：下階段與工程會	敬表贊同。	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
討論是否能於工程中採行相關項目要求，如訂定相關標準等。		
3.本計畫為起步計畫，未來若有延續計畫，建議方向包含：針對國內調適案例進行深入分析、製作公路系統履歷（如針對既有路線系統建立公路因應氣候變遷的履歷，涵蓋每條路線當時設計標準、改建時間及其目的、面臨的氣候變遷危害等，有助於既有系統因應氣候變遷）等。	敬表贊同。	同意
交通部公路局陳進發總工程司		
1.報告書第 3-12 頁提及的沿海公路案例僅針對淹水分析，尚無其他氣候壓力衝擊分析，國內要引用較難，建議加入強風分析。	報告書第 3.2 節沿海公路調適案例於氣候壓力因素分析時，除風暴潮與海平面上升外，尚包含波浪、強風與高溫等，惟最終僅關注於影響較為嚴重的海平面上升和風暴潮，與本研究示範案例氣候壓力因素篩選情況相近。	同意
2.報告書第 3-25 頁從指認氣候風險到脆弱度評估，依舊沒有說明以何種標準辦理衝擊分析。	該案國外案例係透過「ROADAPT 快速掃描」執行氣候風險的初步評估，過程是採用專家工作坊的方式完成風險矩陣後，使用 ROADAPT 脆弱度評估工具進行脆弱度評分。 由於目前國內調適尚無一體適用的標準，建議依據個案需求透過專案組成的專家工作小組討論出合適的參考指標及評級標準。	同意
3.針對報告書第 3-33 頁提供以下建議： (1)就強降雨而言較難看出使用何種基準檢核脆弱度。 (2)風險評估採用模型為純理論且單一均質，與實務差太遠且評估結果並無需進行調整，代表性不足。	遵照辦理，考量國內實務面應用參考所需，已更新山區公路案例，請參見報告書第 3.2 節。	同意
4.報告書第 4-1 頁示範案例實作敘述過少，難以瞭解如何	第四章重點為說明指引檢討流程，其中僅提及示範案例流程，完整示	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
操作。另對於改版前後差異似乎僅於原則性敘述，尚未對技術指引有所著墨。	範案例實作請參見第五章。	
5.報告書第 5-11 頁表 5.2-3 未來氣候變遷推估資料表至關重要，如何推估建議說明。	未來氣候變遷推估資料表係依照五大氣候壓力源蒐集未來氣候推估資料，並分析未來與現況之變化情形所可能產生之氣候衝擊及其衝擊程度。	同意
6.針對報告書第 5-21 頁提供以下建議： (1)執行一連串之氣候變遷風險評估結果為中度風險，其中如何連結至減少落墩及加強橋基保護等調適策略？ (2)由此得出定性描述之調適策略恐難以決策，且較難看出應用成效。	(1)根據調適指引第參章，建議針對中度風險以上組件提出調適策略與措施，以橋墩為例，參考原綜合規劃報告書與一般工程實務做法，故初步提出減少落墩及加強橋基保護工等調適策略。 (2)由於本計畫命題為公路系統規劃階段，且氣候相關量化數據不足，難以提出定量計算之調適措施及其成效，因此建議於規劃階段提出調適策略後，後續再將調適策略納入設計階段進行考量，並進一步計算其調適成效。	同意
7.針對報告書第五章示範案例提供以下建議： (1)建議案例開始前先由專案工作小組探討公路之功能，確認公路可承受之災害風險程度，以本次案例所提「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」（台 61 線）為例，此計畫為跨河川橋梁，其功能為觀光、運輸及提供高速公路進行備災等 3 種，並非生命線，因此其可允許暫時失能，「允許暫時失能」代表其不需於設計時排除所有風險，而可於失能後透過緊急應對措施恢復處理。 (2)公路之功能評估完成後，應針對公路必要資產(路堤、橋台、上構下構及墩柱等)進行拆解並執行風險評估，並指	(1)遵照辦理，案例演示已參考其觀光、運輸及提供高速公路進行備災等 3 種功能，在允許暫時失能的定位下提出調適選項，以上說明已補充於報告書。 (2)本示範案例已有針對公路資產進行拆解，並進行風險評估。 (3)示範案例中已說明流域範圍之未來降雨推估變化情形，有關河川水位歷線之推估部分確實為操作示範案例時無法執行之環節，已於報告書中及指引中說明此資料斷鏈問題。 (4)遵照辦理，調適選項部分之替代與相互配合關係，已補充說明於報告書。 (5)遵照辦理，各專案針對個案資產應透過專家團隊進行衝擊鏈分析等相關文字。	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
認氣候壓力。 (3)由於考量海平面上升及暴潮/風浪等對於橋梁之影響時，需同時考量漲退潮、強降雨時內水外淹等受河川影響的各類因素，該部分較為複雜，故建議先專注於進行強降雨及強風之風險評估，如報告中降雨量 650mm/24hr之數據，並由相關主管機關提供河川水位歷線等相關資料，及分析河川針對該降雨量是否有潰堤之可能，以利公路機關進行氣候變遷調適因應，惟目前未有相關機關可提供此資料，建議於報告書中敘明此部分有資料不易取得問題。 (4)依照前述選定之氣候情境及氣候壓力針對公路各資產進行衝擊分析，以路堤為例，進行衝擊分析時因瞭解未來有淹水可能，故可針對路堤進行韌性設計，讓其承受短暫的淹水，並於可行性評估階段分析公路持續淹水達一定時間時之替代方案，如：搭便橋、使用貨櫃墊高等緊急措施；若評估後無合適替代方案則可適度提高高程，但仍需注意提高高程之主要用意為增加其失能時恢復功能之替代方案，應避免將其高程過度抬升影響居民進出。 (5)由於氣候衝擊鏈分析產出之風險研判較為簡略（如道路阻斷）易產生誤導，建議增加敘明氣候衝擊鏈其僅為示意圖，由於公路個案間具差異，進行評估時仍需專家團隊針對個案資產進行衝擊鏈		

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
分析。		
交通部高速公路局		
1.報告書第一章第 1.6 節名詞與定義請增加 NbS 自然為本（Nature-based Solutions）定義。	遵照辦理，已補充 NbS 定義：保護、永續管理與復育自然或改造生態系統之行動，有效及調適地因應社會挑戰，同時增益人類福祉和生物多樣性效益(IUCN，2016)，請參見報告書第 1.6 節及附冊 1.2。	同意
2.針對第五章意見如下： (1)依報告書第 2-36 頁所載（IPCC），國際上應用於運輸系統之調適選項類別包括硬保護、調整與升級、搬遷、自然為本等四類，建議補充納入示範案例。 (2)根據專家風險評級結果顯示，示範案例範圍全區皆為中度風險等級，建議針對表 5.2-5 加入採行調適策略後之風險評級。 (3)示範案例應補充調適策略、措施成本效益評估，並補充與未採取調適的基線情境進行效益比較。 (4)報告書第 5-6 頁「…依據《公路橋梁設計規範》其設計年限應不小於 100 年…」建議修正為「…依據《公路橋梁設計規範》其設計年限不小於 100 年…」。 (5)本報告第二章內容多處強調以自然為本的解決方案（NbS）運用於沿海公路，惟示範案例並未納入。 (6)表 5.2-5 之調適策略尚無具體建議、表 5.2-6 之參考基準評定不易。 (7)表 5.2-6 可能性與嚴重性參考基準表，未定義可能性分級之參考基準，與交通部運	(1)示範案例研擬調適選項時已考慮 IPCC 歸納之四類調適選項，但文字敘述上並未直接採用「硬保護」、「以自然為本的解決方案」等分類，由於該示範案例經公路實務單位建議，其道路功能定位尚可「允許暫時失能」，因此在調適選項擬定上應特別著重於在失能修復期間可採行之替代方案，強調軟性、管理面的調適選項。另基於該案例成本考量調適選項應優先考慮管理手段再採取調整或升級硬體設施，故據此調整示範案例之調適策略及措施，請參見報告書第 5.1~5.3 節。 (2)考量公路規劃實務推動之涵蓋可行性評估、綜合規劃等階段，且各階段時間有限，若在可行性評估階段同時執行氣候變遷風險評估、評級及採行調適策略後之評級恐影響專案時程，因此建議將其可行性評估階段之氣候變遷風險評估結果納入綜合規劃階段考量，並將綜合規劃階段評估結果納入設計階段進行考量。 (3)本案示範案例演示之目的在於驗證指引調適三階段機制的可行性，且根據目前所掌握之資料，尚難以進行成本效益評估並與原先計畫進行差異比較；此外，案例之調適工作重點在於透過風險評估進行風險揭露，故調適策略僅初	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
輸研究所有關氣候變遷鐵公路之風險評等級（危害度x脆弱度）不同。	步提出建議。 (4)已依委員意見修正。 (5)以自然為本的解決方案（NbS）很大程度的涉及了與其他目的事業主管機關的協調與合作，因此在調適選項上應透過調適工作小組，與其他相關目的事業主管機關共同商討提出，考量本案示範案例操作時間有限，故目前僅針對工程單位可採行之硬性與軟性調適選項進行說明。 (6)由於本計畫係於規劃階段導入調適作業，主要目的係達到風險揭露，故僅初步提出調適策略，調適措施之詳細量化分析應於後續各工程研究或設計階段考量；本示範案例係依照資料可取得性，初步選定可供參考之評定基準，未來各專案應依照各自需求，透過調適工作小組討論專案適用且可操作之評定基準。 (7)可能性分級係參考 NCDR 極端降雨發生機率（危害度等級）進行分級，詳見圖 5.2.9；鐵公路風險地圖概念源於 AR4，係針對風險概念中之危害度與脆弱度界定指標進行評級，由於 IPCC 針對風險概念自 AR4 至 AR5 有所差異，AR4 著重於探討脆弱度而 AR5 著重探討風險，而本計畫示範案例著重探討風險，一般工程風險計算時使用之可能性與嚴重性進行指標界定。	
交通部公路局		
1.《氣候變遷因應法》第 18 條第 3 項：「前項氣候變遷風險評估之作業準則，由中央主管機關會商有關機關定之。」，惟目前環境部尚未頒布該作業準則，建請本案調適指引後續依該作業準則做	感謝委員提點，已將委員意見納入報告書後續推動建議，說明指引應配合調適相關法規滾動檢討並更新，以確保指引內容可與時俱進。	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
風險評估。		
2.報告書第 5-11、5-15 頁等、表 5.2-3：在氣候變遷情境設定中以世紀末 RCP8.5 作為情境設定。建議在 RCP8.5 加註括弧說明，如 RCP8.5（各國並無任何減量的情境）。	遵照辦理。	同意
3.報告書第 5-20 頁表 5.2-6 可能性與嚴重性參考準表：參考基準危害度等級中，淹水水深與交通量是否有對應關係？例如是否淹水水深 0.5~1.0 公尺，且交通量 200~800 PCU/時，危害度等級才為 2？	示範案例指標參考提及之淹水深度係代表其對交通系統之直接衝擊，交通量則代表對於社會經濟之影響程度，但該指標係針對此案例演示並非固定指標，建議各專案依據自身需求研提指標；另有關風險指標指認及評級方式則可透過專家工作坊進行討論取得共識。	同意
4.研究示範案例雖為施工案例，在該案綜合規劃報告中已有考量因應氣候變遷，在「極端氣候變遷之因應」小節說明其策略。另本局已將因應氣候變遷納入契約規範第 2 條「履約標的」，並已下達各分局據以執行，後續可由可研、綜規之顧問公司進行風險評估及調適策略。	敬悉。	同意
5.建議修正以下誤植： (1)附錄四：維生基礎設施領域氣候變遷調適行動方案（112-115 年），國家氣候變遷調適行動計畫（112-115 年）已於 112 年 10 月 4 日奉行政院核定，請修正。 (2)報告書第 2-58、2-67 頁：請修正公路局第二養護處為公路局中區養護工程分局。	(1)已更新為行政院核定版本，詳見附錄四。 (2)已修正，詳見報告書第 2.4 節。	同意
財團法人臺灣省土木技師工會		
1.報告書第 4.5 節第 4-29 頁公路系統因應氣候變遷強化調適能力工作主要在規劃及可行性研究階段辦理，惟按照	本指引為框架指引，主要目的係引導機關納入調適作業之用。由於實務操作所衍生的財務需求依個案而異，建議機關將相關工項及經費納	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
行政院公共工程委員會「機關委託技術服務廠商評選及計費辦法」第4、5條已經明訂相關工作的服務項目，並無氣候變遷強化調適能力工作，且其評估工作量大，建議可於報告中明確說明本工作之作業項目（例如召開幾次專家工作坊、主要評估之要項等），並應於規劃及可行性研究階段另行計價。	入標規內容。	
2.報告書第5.2節第5-5頁報告中所有有關橋「樑」字，請依據交通部頒之公路橋梁設計規範統一改為「梁」字。	遵照辦理。	同意
3.報告書第5.2節第5-6頁依據《公路橋梁設計規範》其設計年限應不小於100年…，規範中並無此條文，請澄清。	《公路橋梁設計規範》於104年4月13日修訂，其中第十二章「耐久性設計」第二節設計原則第4點，規範主要聯外公路橋梁或經主管機關認為必要者，設計年限不小於100年；其他公路橋梁，設計年限不小於50年。	同意
4.報告書第5.2節第5-16頁文中提及「此外，強風、風浪部分，於現況及世紀末皆屬於極低等級之影響程度..」，此部分是否有相關佐證資料；另於表5.2-4中「暴潮/風浪」影響程度可能嚴重，與本文矛盾，請澄清。	強風、風浪部分之佐證資料參見NCDR現況與未來強風、風浪之推估成果圖5.2-8與圖5.2-15；依據NCDR暴潮/風浪之推估資料，暴潮與風浪之未來推估結果不相同應分別呈現。	同意
5.報告書第5.2節第5-16頁文中提及「此外，強風、風浪部分，於現況及世紀末皆屬於極低等級之影響程度..」，本示範案例若橋梁段採用高塔柱之斜張橋、懸索橋，強風的影響應該不容忽視，請再研議。	由於氣候變遷調適係導入既有公路規劃程序中，原本公路規劃過程中應考量之氣候與環境因素、參採之設計規範，仍應考量。根據示範案例所蒐集之未來氣候推估資料結果顯示，現況與未來之強風情況變化不大，因此判斷未來強風可能產生之衝擊，已納入原先規劃程序中考量，故未再深入進行風險評估，文字令人誤解已更正。	同意
6.報告書第5.2節第5-16至5-	有關氣候相關定量數據之取得與使	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
22 頁，表 5.2-4 及表 5.2-8 本示範案例經分析影響程度可能嚴重的氣候壓力是「強降雨」、「暴潮」、「海平面上升」，調適策略表中列舉的「調整橋梁淨高」、「加強橋面排水」、「加強橋基保護工」等皆為定性式的調適策略，對後續設計階段並沒有明確的規定，無明確之定量數據可供依循。例如:調整橋梁淨高可以規定高於 100 年重現期洪水位再加 1.5m 出水高、或者依據公路排水設計規範第三章節建議調整設計流量或調整重現期距等明確定量性的規劃，以利後續設計階段可供依循。	用限制，需與資料產製機關再行研議，其推估資料數據之尺度與可靠性，是否可提供設計階段設計調適措施時依循，因此，本計畫示範案例僅先透過定性描述說明調適策略。	
7.報告書第 5.2 節第 5-16 頁文中提及「高溫部分，…不致對本案例之計畫道路造成重大影響」，依據交通部頒布「柔性鋪面設計規範」第 2.4.2 節溫度，對鋪面設計以及瀝青混凝土的配比皆有影響；另依據公路橋梁設計規範第 3.16 節溫度變化之力，除了對橋梁主體結構造成影響外，相關橋梁伸縮縫及支承等附屬設施亦會有相當的影響，請再釐清。	有關高溫部分，因高溫主要影響層面為鋪面材料軟化、結構鋼材熱膨脹，初步研判升溫幅度及高溫持續程度不致對本案例之計畫道路造成重大影響，且可透過調整鋪面材料、預留伸縮縫等方式處置，研判影響較為輕微，本次暫不針對高溫進行後續評估。	同意
本所運輸能源及環境組		
1.報告書第一章緒論及第 2.4.2 小節，配合各部會組改，有關部會名稱請統一修正（例如環保署請修正為環境部、經濟部工業局修正為經濟部產業發展署、氣象局修正為氣象署）。	遵照辦理，詳見第一章緒論及第 2.4 節。	同意
2.報告書圖 1.4.1 之計畫年期，配合「氣候變遷因應法」之修		

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
正，請修正為 112-115 年。		
3.報告書第 2.4.2 小節，研究團隊針對蒐集之應用案例，建議以國內外、陸海空運等系統之方式予以分類，以利閱讀。		
4.報告書第 3-50、4-29 頁，團隊建議將氣候調適工作納入契約規範一節，考量國發會「行政院所屬各機關中長程個案計畫編審要點」之中長程個案計畫自評檢核表，已於 112.8.11 修正，並將是否強化因應氣候變遷之調適能力納入自評。建議團隊針對中長程個案計畫提及須強化因應氣候變遷調適能力，並納入淨零相關概念部分，再酌予補充。	已補充於報告書第 4.5 節，另指引提及的調適三階段作業成果基本要求，可對應到「行政院所屬各機關中長程個案計畫」風險管理計畫的要求，參見報告書第 4.5 節。	同意
5.報告書第 4-24 至 4-27 頁，研究團隊將本調適指引架構（草案)修正為包括導讀、氣候變遷對公路系統的影響、公路系統規劃階段強化調適能力機制、公路系統氣候變遷風險評估作業方法、公路系統調適選項及決策方法、結語等 6 章節，考量 ISO 14091 架構主要係以風險評估前置作業（包含確定目標和預期結果、成立計畫團隊、確定範圍和方法、設定時間範圍、蒐集相關資訊、擬定執行計畫）、實施風險評估（研擬衝擊鏈、辨識指標、取得與管理數據、整合指標與風險組成、評估調適能力、解析與評估研究結果、分析跨部門相互依賴性、獨立審查），以及報告和溝通氣候變化風險評估結果等步驟有差異（第	ISO 14091 為適用於各領域的通則，應用上能需依實際情形活用。考量國內公路系統規劃分為可研和綜規二階段，故本計畫以 ISO 14091 的精神融入國內公路系統規劃流程，並考量國內相關資源條件，綜理各方意見後檢討修訂指引內容。	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
2-19 頁），建議團隊再檢視建議指引修正步驟之妥適性與可操作性，以利公路主管機關及民間工程顧問公司之參考。		
6.針對報告書第五章，提供以下意見： (1)本案於期末報告特將交通部公路局「西濱曾文溪橋段新建工程綜合規劃」案納入示範案例分析，有關相關操作步驟與資料蒐集內容，務請研究團隊於報告書及指引中清楚呈現與詳實描述，以利國內公路實務單位能確實操作。 (2) 研究團隊對於示範案例，主要係參酌 ISO 14091 與調適指引，辦理前置作業、蒐集與分析氣候變遷情境與相關資料、初步評估影響調適能力的氣候風險因素、執行氣候變遷風險評估等步驟進行案例研析。由於期末報告之文字似欠缺對於衝擊鏈分析、風險組成、軟性（soft）與綠色（green）之調適策略等論述，建議團隊再依指引內容就其步驟確實補述。 (3) 有關各資料之來源，建議補充其網址以利查詢。例如高溫的情境比較係參考臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台（TCCIP）的網址：https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ds_02_03_ar6.asp。 (4) 有關研究團隊建議以工程規劃團隊為主體，考量氣候變遷調適應落實環境正義與社會正義，對於能夠影響計畫決策或活動、受決策或活	(1)遵照辦理，已補充示範案例具體操作步驟，詳見報告書第 5.1~5.3 節。 (2)針對衝擊鏈分析、風險組成、軟性（soft）與綠色（green）之調適策略等文字部分已補充於報告書第 5.2 節。 (3)示範案例所蒐集之資料來源的網址請參見附冊第 4.4 節。 (4)由於氣候變遷調適具跨領域專業特性，建議以主辦機關為召集人，邀集工程規劃團隊、氣候變遷相關資料提供機關與所涉環境區位主管機關等組成之調適工作小組，並於附冊第 4 章前置作業，補充說明應設計妥善的參與機制，提供能夠影響計畫或被計畫影響之利害關係人表述意見之機會，並將相關意見納入規劃過程中考量。	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
動影響或認為自己受決策或活動影響的個人或組織，於適當時機亦建議能納入討論。		
本所陳其華主任秘書		
1.目前氣候變遷調適處於起步階段，本計畫不僅進行概念釐清、架構建立及知識庫建立，透過本次會議也獲得很多後續值得深思的問題，建議計畫可針對這些面向提出建議： (1)氣候資料如何對應使用者端之需求？資料斷鏈於何處？應如何處理？ (2)若從實務面考量，後續是否需要有關單位提出相關標準作業程序及對應現行法規使其更易於落實？	(1)從國內外文獻可知目前氣候資料服務與公路規劃調適資料需求之間仍存在相當落差，諸如資料時空精度、對於未來不確定性的認知與處理能力、資料更新即時性等皆屬常見課題;此外,就公路系統規劃而言，部分資料需先經其他主管機關加值處理之後，例如降雨量經水利主管機關處理為淹水高度等，方始能為公路規劃設計所用。因此,現階段公路系統調適過程中勢必面臨各種類型的資料斷鏈問題，處理方式可分為短期與中長期：短期建議務實上以「實際可取得的最佳資料」替代無法取得的資料，並儘量善用指	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
	引中所提及的組成「氣候變遷調適工作小組」的機制運作以彌補資料及知識缺口；中長期則建議善用「國家環境研究院」建置的科研協作平臺，並進一步視需要針對交通部門需要提供氣候資訊服務平臺，詳見報告書第 4.5 節及 6.2 節。 (2) 基於國際變遷調適主流化的倡議，建議優先將「無悔行動」納入有關單位的施政作為，例如，調整採購標規要求、作業要點、標準作業程序等行政成本相對較低的作為。另考量當前各項氣候條件如何具體影響公路系統效能的本土知識尚待建構，故建議涉及氣候「閾值」訂定(檢討)之標準作業程序、規定等，應儘速累積國內經驗之後再行研修，例如，公路設計相關規範等，參見報告書第 4.5 節及 6.2 節。	

附錄 3 成果投稿

本計畫成果投稿於國內研討會「中華民國運輸學會 2023 年年會暨學術論文國際研討會（112 年 12 月 7~8 日），投稿之題目為：「公路系統規劃階段融入氣候變遷調適考量之框架」。說明如下：

1. 國內研討會發表文章摘要

公路系統為維繫社會經濟發展的重要基礎設施，一旦其功能受損或失能影響社會經濟甚鉅。近年因全球暖化所導致的氣候變遷現象加劇，例如高溫、強降雨及強風等氣候壓力之頻率與強度增加，對於公路系統帶來的氣候衝擊與影響愈顯嚴重，如何及早提升公路系統因應氣候變遷的調適能力實屬當務之急。公路系統之規劃係依循相關法規及規範辦理，惟國內既有之公路系統規劃框架（此框架係指公路規劃流程與步驟）及相關規範對於氣候變遷調適之考量仍有不足之虞，本研究透過文獻回顧蒐整國外公路系統於規劃階段強化調適能力的框架與實務案例，嘗試提出國內公路系統規劃階段融入調適考量之框架，期能補足國內公路系統調適規劃相關知識及實務經驗缺口，引導公路設施權責主管機關將氣候變遷調適考量融入公路系統規劃程序之中。

關鍵詞：氣候變遷調適、公路系統規劃、氣候變遷風險評估、調適框架

2. 國內研討會投稿與接受證明

中華民國運輸學會投稿系統投稿與接受證明，詳見下圖：



中華民國運輸學會投審稿系統

論文投稿 主題:公路系統規劃階段融入氣候變遷調適考量之框架

列印 關閉視窗

一、投稿人或通訊作者基本資料

1、投稿年度

2023

2、投稿人或通訊作者姓名 *

吳柏萱

3、服務單位 *

鼎漢國際工程顧問股份有限公司

4、職稱 *

規劃師

5、聯絡電話 *

02-2748-8822#625

6、通訊作者e-mail *

bo@thi.com.tw

7、其他作者e-mail(請用 , 分開)

aprilwu@thi.com.tw, justinlin@thi.com.tw, laiih@iot.gov.tw

二、論文資料

1、投稿分類

08.永續運輸

2、論文題目(中文) *

公路系統規劃階段融入氣候變遷調適考量之框架

3、論文題目(英文) *

A Framework for Strengthening the Adaptive Ability of Highway Systems under

4、作者(一)姓名(中文) *

吳柏萱

5、作者(一)姓名(英文): *

BO-SYUAN WU

6、作者(其他)姓名(中文): (多位作者姓名間請用逗點分隔)

吳柏萱,
吳清如,
林真德,
朱珮芸,
賴宜弘,

7、 作者(其他)姓名(英文): (多位作者姓名間請用逗點分隔)

BO-SYUAN WU,
CHING-JU WU,
JHEN-DE LIN,
PEI-YUN CHU,
I-HUNG LAI

8、 論文摘要(中文) *

公路系統為維繫社會經濟發展的重要基礎設施，一旦其功能受損或失能影響社會經濟甚鉅。近年因全球暖化所導致的氣候變遷現象加劇，例如高溫、強降雨及強風等氣候壓力之頻率與強度增加，對於公路系統帶來的氣候衝擊與影響愈顯嚴重，如何及早提升公路系統因應氣候變遷的調適能力實屬當務之急。公路系統之規劃係依循相關法規及規範辦理，惟國內既有之公路系統規劃框架（此框架係指公路規劃流程與步驟）及相關規範對於氣候變遷調適之考量仍有不足之虞，本研究透過文獻回顧蒐整國外公路系統於規劃階段強化調適能力的框架與實務案例，嘗試提出國內公路系統規劃階段融入調適考量之框架，期能補足國內公路系統調適規劃相關知識及實務經驗缺口，引導公路設施權責主管機關將氣候變遷調適考量融入公路系統規劃程序之中。

9、 論文摘要(英文) *

Highway system is an important infrastructure for socio-economic development, which will substantially affect the society since the function is damaged or disabled. As global climate change intensifies, the highway system faces more complex and severe climate risks, such as heavy rainfall, strong wind, high temperatures, and storm surges, which will affect the highway system. Therefore, strengthening the adaptive abilities of highway systems to climate change as early as possible is the top priority for the government. The planning of the highway system follows relevant laws and regulations. However, the existing domestic highway system planning framework (this framework refers to the highway planning process and steps)

10、 投稿稿件原始檔(限word格式 30M以內) *

目前檔案(點擊檔名可以下載檔案):期刊投稿_0907_F8_定稿.docx

11、 無作者訊息稿件(限pdf格式30M以內) *
目前檔案(點擊檔名可以下載檔案):期刊投稿_0907_F8_定稿(無作者).pdf

參加論文獎、刊登期刊與簡報意願調查表

1、 是否願意參加研討會論文獎之評選 *
◉ 是 ○ 否

2、 是否願意參加民航學會論文獎之評選(僅限投稿航空領域稿件)
○ 是 ◉ 否

3、 是否願意接受推薦本論文於「運輸學刊」或「運輸計劃季刊」 *
◉ 是 ○ 否

4、 研討會當天是否願意以「口頭發表」或「海報發表」方式報告論文： *
◉ 是 ○ 否

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)	8
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)	8.5
三、 研究資料及方法是否清楚說明，適當且正確使用? (1~10分)	9
四、 對相關領域之研究文獻是否已充分了解且參考? (1~10分)	7.5
五、 結論是否正確且充分獲得研究結果之支持?(1~10分)	7.5
總分	40.5
審查結果為：	推薦至期刊
最終研討會發表項目：	優秀論文海報發表

審查委員意見如下

本篇文章探討公路系統規劃階段融入氣候變遷調適考量之框架，目前台灣於此相關之框架，幾乎無相關之規範說明如何應對氣候變遷之調適。 本文蒐集國際對於相關議題之文獻，並加以整理可適用於國內之合適框架，藉以補足台灣公路系統調適規劃等不足之相關知識及實務經驗之缺口，實屬重要之研究。

本研究專注於公路系統的規劃，特別是如何在公路系統規劃階段融入氣候變遷調適的考量。由於氣候變遷所帶來的各種風險，如暴雨、強風、高溫及風暴潮等，都對公路系統造成了威脅。此研究通過回顧外國的公路系統框架和實際案例，提出了一個整合調適考量的國內框架。此外，透過荷蘭A58公路的案例分析，研究也深入探討了如何在實際操作中將氣候變遷調適納入其中。 此研究為我國公路系統因應氣候變遷的調適能力做出了重要的貢獻。尤其是提供了一套早期在公路系統規劃階段便融入氣候變遷風險調適的實用指引，這對公路系統當局和專業規劃師都是極為有價值的。研究明確指出在公路系統規劃階段融入調適的理念能夠達到最佳的效果。期望透過本研究的建議，能夠促使相關權責機關更加重視氣候變遷調適，並將其整合進公路系統的規劃中，進一步強化我國公路系統的調適能力。總的來說，這篇研究對於公路系統調適規劃領域是很具有價值的資源，並對國內情境做出了重要貢獻。作者們的深入研究和有價值的見解我認為值得發表於學術學刊。

全文定稿上傳

1.全文定稿(限word格式30M以內)
瀏覽檔案 沒有選擇檔案 上傳
目前檔案: 期刊投稿_1013_定稿.docx

2.審查意見回覆表(限word格式30M以內)
（除已收到通知的獲獎候選論文外，其他論文可自行決定是否提送審查意見回覆表。本表提送與否不會影響論文評分結果及是否獲邀簡報）
瀏覽檔案 沒有選擇檔案 上傳
目前檔案: 投稿_意見回覆表.docx

附圖 3.1 文章投稿與接受證明

附錄 4 成果海報

交通部運輸研究所
Institute of Transportation, MOTC

公路系統因應氣候變遷強化調適能力案例研析

研究背景

● 交通部運輸研究所於111年計畫研擬「公路系統規劃階段調適指引」文本，為期進一步引導公路設施權責主管機關具體落實應用，運研所於112年「公路系統因應氣候變遷強化調適能力案例研析」研究案持續蒐集與研析調適實務案例，提供公路系統設施權責機關應用參考

計畫範圍與對象

研究範疇：「公路系統」係指國道、快速公路以及省道等；「規劃階段」係指路線可行性研究及綜合規劃階段

應用單位與應用方向：交通部公路局、交通部高速公路局等公路系統權責機關提升調適能力之應用參考

階段研究成果重點

研究主軸：公路系統規劃階段調適指引檢討及示範案例演示

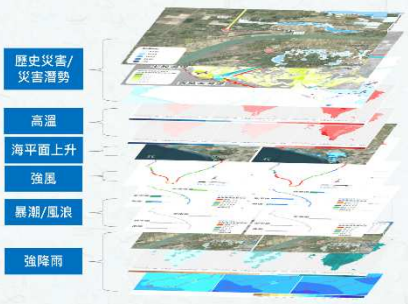
公路系統規劃階段調適指引(章節)應用索引

公路規劃	氣候變遷調適作業	作業程序及方法	作業成果
	前置作業	方法參見4.1節	
第一階段 資料蒐集分析	氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析	回顧過往氣候形態 → 未來氣候變遷情境設定 → 氣候相關資料蒐集與分析 程序參見3.2節；方法參見4.2節	**回答下列五項問題並彙整成表**： 1.面臨之氣候壓力與衝擊 2.可能的衝擊區位與範圍 3.可能的風險 4.可能的影響程度 5.潛在因應對策 示例如表3-1
第二階段 方案研擬與評估	初步評估影響調適能力的氣候風險因素	指認氣候風險因素 → 初步評估影響調適能力的氣候風險因素 程序參見3.3節；方法參見4.3、4.4節	**可研報告**產出「**潛在氣候變遷風險說明表**」，基本要求如下： ● **分析尺度：路網/路廊** ● 結構化方式說明影響區位、風險因素、衝擊內容、風險評級與因應策略 示例如表3-2
第三階段 工程研究與評估	氣候變遷風險評估	執行氣候變遷風險評估 → 回報評估結果 程序參見3.4節；方法參見4.4、5.1、5.2節	**綜規報告**產出「**氣候變遷風險評估表**」，基本要求如下： ● **分析尺度：路段** ● 以前階段說明表為基礎，著重中度風險以上區位，進行關鍵組件的風險評估，並提出調適策略/措施 示例如表3-3

示範案例演示成果

氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析

根據影響公路系統最大的五大氣候壓力因素以及公路所在環境區位條件，蒐集與分析相關資料



繪製氣候衝擊鏈

辨識氣候風險因素，並掌握各因素間之影響關係，繪製成氣候衝擊鏈



產出氣候變遷風險評估表

透過專家工作坊針對各公路組件進行風險評估，並針對中度風險以上組件研擬調適策略/措施

區位	危害因素	暴露因素	脆弱因素	潛在衝擊說明	可能性(L,5級)	嚴重性(C,5級)	風險評級	因應策略
計畫起點至海埔堤防	1.強降雨 2.暴潮 3.海平面上升	1.跨道路系統交接處 2.城際運輸重要聯外道路 3.地方重要聯外道路	1.淹水潛勢區 2.暴潮易淹潛勢區 .	強降雨、暴潮、海平面上升造成平面道路淹水	2.25	2.5	5.625 (中)	1.調整平面道路高程 2.加強道路抗洪能力 3.災時避免通行道路 4.維護護岸/堤防 5.維護海岸線濕地
海埔堤防至青草崙堤防				強降雨增加河川流速沖擊河上構造物	2.75	3	8.25 (中)	1.減少落墩 2.加強橋梁設計強度 3.災時避免通行橋梁
青草崙堤防至計畫終點	1.強降雨 2.暴潮			強降雨、暴潮造成平面道路淹水	2	2.5	5 (中)	1.調整平面道路高程 2.加強道路抗洪能力 3.災時避免通行道路 4.維護護岸/堤防 5.維護海岸線濕地

交通部運輸研究所
Institute of Transportation, MOTC

公路系統因應氣候變遷強化調適能力案例研析

階段研究成果

研究主軸：公路系統規劃階段調適案例研析

案例一 桑迪颶風後針對紐約、紐澤西及康乃狄格州的運輸韌性研究－紐澤西州拉里坦灣南岸

美國沿海公路調適案例

案例背景

本案例為桑迪颶風後美國聯邦公路管理局針對紐澤西州拉里坦灣南岸的一項**區域運輸韌性研究**，該區域運輸系統長期受到沿海風暴影響，案例針對鐵公路系統進行風險評估，並針對高風險地區提出潛在可行的調適策略

調適作為

氣候變遷情境與資料蒐集

- 以**海平面上升**及**風暴潮**為主要考量
- 該系統為區域**主要通勤路線**，且為**災時重要疏散及救災路線**，故使用**「高推估」情境**進行分析

海平面上升與浪高情境

項目		波浪高度	
		百年頻率風暴事件	百年頻率風暴事件 +6.8 ft浪高
海平面上升	基線	13.00 ft	19.80 ft
	2050年 (+2.22 ft)	15.22 ft	22.02 ft
	2100年 (+7.10 ft)	20.10 ft	26.90 ft

氣候變遷風險評估

- 以淹沒深度代替可能性(表示相對暴露程度)
- 以交通量、低收入戶及少數族群比例等表示後果嚴重性
- 透過**疊圖分析**討論風險



因應氣候變遷調適選項

- 應掌握過去調適相關研究與計畫
- 依據**風險承受能力**、**投入預算**和**期程**，將調適選項區分為四象限

調適選項清單

	短期	長期
風險承受度高/投入預算低	調適選項更傾向於管理手段	提升調適能力和減少後果，隨風險增加亦考量設施問題
風險承受度低/投入預算高	更積極的解決潛在設施損壞	針對可能的嚴重災損提出預防措施

案例二 氣候變遷調適策略－荷蘭InnovA58高速公路

荷蘭內陸公路調適案例

案例背景

本案例為美國聯邦公路管理局和荷蘭交通水利管理局之雙邊合作計畫，透過雙方**氣候變遷調適框架**，評估荷蘭 InnovA58 公路擴建計畫之氣候風險，並規劃調適路徑

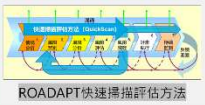
調適作為

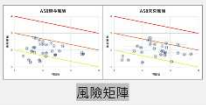
氣候變遷情境與資料蒐集

- 使用荷蘭氣象研究所制定的情境（2050–2085年）
- 研究重點關注**短延時強降雨**事件

氣候變遷風險評估

- 運用 ROADAPT **快速掃描評估方法**，透過**工作坊**進行風險指認
- 開發當前風險矩陣，並根據情境轉化為未來風險矩陣
- 根據現場訪談、排水系統、地形高程等，找出易淹水地點

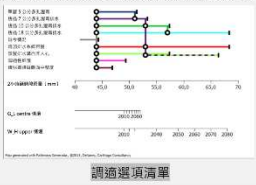

ROADAPT快速掃描評估方法


風險矩陣


淹水風險

因應氣候變遷調適選項

- 擬定調適路徑，將未來可採行的選項視覺化
- 選項達「臨界點」時，可掌握其替代調適選項組合
- 於採購契約中要求承包商須納入氣候調適考量


調適選項清單

案例三 氣候變遷脆弱度評估與調適選項研究－奧勒岡州段高速公路

美國山區公路調適案例

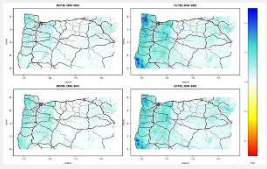
案例背景

本案例針對奧勒岡州克拉索普郡和蒂拉穆克郡 10 條高速公路路廊進行整體**脆弱度評估**，並選擇其中脆弱程度高且被視為生命線道路的 101 號高速公路做為研究範圍深入評估，針對其中 5 個示範地點提出調適選項，並進行成本效益分析

調適作為

氣候變遷情境與資料蒐集

- 蒐集中等（RCP4.5）與最劣（RCP8.5）情境下，近期（2006-2035）與長期（2036-2065）的降雨量及海平面上升變化


不同情境年期降水量變化

氣候變遷風險評估

- 確立關鍵資產，並召開工作坊進行資產脆弱度評估



高速公路脆弱度等級

因應氣候變遷調適選項

- 針對高脆弱度的 101 號高速公路選定 5 個示範地點，提出調適選項，並計算建設與維護成本

示範地點	危害類型
Arch Cape	山崩、海岸侵蝕
Falcon Cove	山崩（填方邊坡破壞）
Gallagher Slough	海岸侵蝕、路基沖刷
Jetty Creek	山崩、海岸侵蝕
Rockaway Beach	海岸侵蝕、路基沖刷、碎屑



建議

強化調適指引配套

- 定期或不定期**滾動檢討公路調適指引**
- 透過**公路機關實務操作，累積本土調適經驗知識**
- **逐步完善調適推動機制**，引導規劃階段融入氣候變遷調適工作

氣候變遷調適工作推動

- **調適思維推動與主流化**，透過教育訓練課程活動分享調適觀念
- **將調適作為「納入採購契約」**或「納入部頒規範」
- 加強**推動跨部門整合**與資訊共享

附錄 5 計畫簡報


交通部運輸研究所
Institute of Transportation, MOTC
公路系統因應氣候變遷
強化調適能力案例研析
鼎漢 國際工程顧問 股份有限公司

大綱 OUTLINE

01 前言

02 運輸系統調適發展趨勢

03 公路規劃調適案例蒐集與研析

04 公路規劃調適指引滾動檢討

05 公路規劃調適示範案例演示

06 結論與建議

2



前言

1.1 計畫背景與目的

計畫背景

- 過去1世紀，人類活動大量使用化石燃料，形成全球暖化，助長極端天氣的衝擊與影響
- 為強化各領域因應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》並於**112年2月公布修正為《氣候變遷因應法》，新增氣候變遷調適專章**
- 前期計畫已研擬**公路系統規劃階段調適指引**，為期進一步引導公路權責機關具體落實應用，本計畫擬**持續蒐集與研析公路調適實務案例**，供公路主管機關參考

計畫目的



4

1.2 計畫範圍與對象

「公路系統規劃階段調適指引實務應用案例蒐集與研析」研究範圍

設施範圍
- 國道
- 省道
- 快速公路

研究成果服務對象
- 高公局
- 公路局

應用範圍
- 規劃階段強化調適能力

「運輸系統氣候變遷調適相關文獻蒐集及其他配合事項」 研究範圍

設施範圍
- 國道
- 省道
- 快速公路
- 臺鐵
- 高鐵
- 機場
- 商港

研究成果服務對象
- 高公局
- 公路局
- 鐵道局
- 臺鐵局
- 高鐵公司
- 民航局
- 桃園機場公司
- 航港局
- 港務公司

應用範圍
- 辦理調適業務

5

1.3 工作項目與流程(1/4)

工作項目

運輸系統調適相關文獻蒐集 | 公路調適指引案例蒐集與研析 | 公路機關交流及滾動檢討指引 | 辦理教育訓練 | 氣候法配合事項 | 其他工作項目

重點工作

文獻回顧
- 運輸系統調適發展方向及趨勢研析，包含新科技應用調適情形等

→ 研提強化國內運輸系統調適能力應用建議

案例蒐集
- 國內外公路系統強化調適能力案例蒐集
- 進行案例分析或探討其作法

→ 提出國內參採之應用建議

資料綜整
- 國內規劃課題
- 公路規劃調適指引檢討

→ **公路設施管理機關訪談**
- 針對重要課題與案例分析成果，進行意見交流
- 討論指引應用及推廣建議

→ 專家工作坊 → 完成滾動檢討調適指引

教育訓練規劃 → **教育訓練辦理**：「公路系統規劃階段調適指引」教育訓練2場次 → 問卷調查與分析 → 後續教育訓練辦理建議

彙整111年度的調適成果

協助辦理112-115調適行動計畫滾動檢討

研究成果投稿(期刊/研討會1篇)

計畫成果填報

成果海報及簡報製作

後續建議

6

1.3 工作項目與流程(2/4)

3月	4月	5月							6月				7月	
22	18	3	4	11	12	15	19	25	1	2	13	19	7	25
計畫啟動	第一次工作會議	跨領域機關訪談(1) 能源署／工研院	專家訪談(1) 中興工程	專家訪談(2) 易緯工程	專家訪談(3) 林同棪工程	維生基礎設施領域氣候變遷調適行動方案112-115年報告	第二次工作會議	公路規劃階段調適指引導讀教育訓練(1)	跨領域機關訪談(2) 水利署水利規劃分署	跨領域機關訪談(3) 產業發展署／綠基會	公路機關訪談(1) 高公局	維生基礎設施領域氣候變遷調適行動方案112-115年簡報	第三次工作會議	期中報告初稿提送	公路機關訪談(2) 公路局



機關訪談照片

7

1.3 工作項目與流程(3/4)





第二場教育訓練



專家工作坊

8

1.3 工作項目與流程(4/4)

■ 工作項目與報告對應章節

工作項目	報告章節
1.蒐集與分析國內外運輸系統氣候變遷調適發展趨勢	第二章
2.公路系統規劃階段調適指引實務應用案例蒐集與研析	第三章、第五章
3.與公路設施管理機關進行溝通交流(訪談或會議等形式)	第四章
4.滾動檢討公路系統規劃階段調適指引	第四章、**附冊**
5.配合環保署(環境部)規劃，辦理國家氣候變遷調適行動計畫(112-115年)之維生基礎設施領域調適行動方案滾動檢討	已配合業務辦理
6.彙整及檢討111年運輸系統因應氣候變遷調適成果	已配合業務辦理
7.規劃及辦理公路系統規劃階段調適指引應用教育訓練	已配合業務辦理
8.研究成果投稿	已配合業務辦理
9.因應運研所科技技化管考之需，協助填報相關研究成果	已配合業務辦理
10.其他與本計畫有關之管考作業及配合事項	已配合業務辦理

9

1.4 期中審查意見辦理情形(1/2)

編號	審查意見分類	辦理情形
1	確認**研究範圍、指引定位及名稱**	• 研究範疇詳見報告書第1.3節 • 指引之適用範疇、定位詳見附冊1.1節 • 指引名稱調整為「**公路系統規劃階段氣候變遷調適指引**」
2	提出**明確指導**	針對**可行性研究與綜合規劃兩階段之應辦事項**，已於指引第三章補充基本要求事項，參見附冊3.2~3.4節
3	**試操作一個國內示範案例**	期末階段配合公路局選定之示範案例「**西濱曾文溪橋段新建工程計畫**」，並於112年10月12日辦理專家工作坊進行討論以驗證指引操作流程之可行性
4	加強說明「**氣候情境設定與氣候相關資料蒐集與分析**」如何操作	為引導實務規劃人員操作「氣候相關資料蒐集與分析方法」，指引檢討後新增「**前置作業**」章節詳見附冊第4章
5	指引之**專有名詞**解釋宜加強說明	已針對指引名詞解釋加強說明，採氣候變遷因應法暨相關子法、環境部氣候變遷名詞手冊以及其他具公信力的國際機構之定義（如IPCC、ISO等），必要時採公路規劃觀點加註解，詳見附冊1.2 節

10

1.4 期中審查意見辦理情形(2/2)

編號	審查意見分類	辦理情形
6	**新科技應用案例**是否與調適有直接關聯	納入**預警應變等科技應用**，並新增「中央大學與日本合作研發人工智慧鋪面狀況調查車案例」、「歐盟資助GIMS邊坡監測系統案例」、「東日本旅客鐵道公司使用雷射裂縫測量系統檢測隧道案例」，詳見報告書2.4節
7	公路調適案例研析之**部分調適措施與調適的關聯性不明確**，應加強說明與調適之關聯性	已全面檢視國外公路案例研析並補充說明措施與調適之關聯性，詳見報告書3.2節
8	**NbS國外案例**宜加強論述及補充	已補充NbS運用於運輸系統之案例說明，詳見報告書2.3.2節
9	補充**國內調適相關資料可參考之平台**	• 已補充於「氣候變遷相關資料蒐集與分析項目參考表」，參見附冊4.4 節 • 1J3TJ/ 更新國內氣候變遷調適相關資源網站，參見附冊7.2節

11



2.1 國際氣候變遷調適新趨勢(1/4)

IPCC AR6 總結報告（2023）

■承認氣候、生態系統及人類社會之間的相互依存關係，並**揭示短期綜合氣候行動的急迫性**

01 即刻行動可有效降低損失

近十年內加速減碳及實行調適行動，將減少人類和失態系統的損失和損害，並產生共效益

02 關注跨系統的減緩及調適選項

所有部門和系統都需快速和深度轉型以實現永續發展，而系統轉型涉及廣泛減緩及調適選項組合的升級

03 減緩和調適行動具協同作用

加速且採取公平之減緩及調適行動對永續發展至關重要，相較於永續發展目標之權衡，減緩和調適行動具更多協同作用

04 建立完善程序增進氣候行動實踐

有效的氣候行動實踐須透過政治承諾、協調多層次治理、建立機制框架、法律、政策和策略以及增加獲得資金和技術的機會

13

2.1 國際氣候變遷調適新趨勢(2/4)

聯合國調適缺口報告（2022）

- **目前的調適仍無法滿足缺口**，但遵循完善的調適規劃和執行要素可提高結果之有效性
- **透過正確原則引導調適行動**，有助於降低危害度、暴露度及脆弱度，進而達成提升韌性或降低風險之目標



14

2.1 國際氣候變遷調適新趨勢(3/4)

美國白宮NbS路線圖（2022）

- 以自然為本的解決方案（NbS）在COP 27為重點議題之一
- 美國於COP 27（2022年11月）會議中首次發布該國NbS路線圖《加速以自然為本的解決方案的機會：氣候進展、豐富自然、公平及繁榮的路線圖》
- 提出美國NbS策略建議綱要計畫，用於指導該國充分運用NbS潛力以因應氣候變遷、自然損失和不平等問題，**預計提供250億美元以上的資金支持NbS的實施**



15

2.1 國際氣候變遷調適新趨勢(4/4)

ISO 近5年「氣候變遷調適」標準

■從2019年至2022年間，國際標準組織公布了ISO 14090、ISO 14091、ISO 14092及ISO 14093等4項氣候變遷調適相關標準

ISO編號	標準主題	公布年
ISO 14090	**氣候變遷調適 - 原則、規定與指引** Adaptation to climate change - Principles, requirements and guidelines	2019
ISO 14091	**氣候變遷調適 - 脆弱度、衝擊及風險評估指引** Adaptation to climate change - Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment	2021
ISO 14092	**氣候變遷調適 - 對地方政府和社區調適計畫之要求事項和指引** Adaptation to climate change - Requirements and guidance on adaptation planning for local governments and communities	2020
ISO 14093	**氣候變遷地方調適計畫融資機制 - 基於績效之氣候韌性補助 - 要求和指引** Mechanism for financing local adaptation to climate change - Performance-based climate resilience grants - Requirements and guidelines	2022

備註：上表所列之ISO調適相關標準(指引)，國內尚無提供認證服務。

16

2.2 運輸系統調適策略及措施(1/7)

美國交通部因應氣候變遷策略計畫（2021）

■《2022年至2026年策略計畫》涵蓋6大策略目標，並將「**增加基礎設施韌性**」及「**增加靈活性和調適性**」納入本期之具體目標

氣候和永續
增加基礎設施韌性

- 評估和減少運輸基礎設施脆弱度
- 識別新興的氣候調適和減緩策略
- **更新指引和法規增強整體運輸規劃韌性**
- 改善運輸部門的應急準備和因應措施
- **投資韌性基礎設施以保護投資**
- **進行案例研究和示範計畫**

轉型
增加靈活性和調適性

- 支持針對政策決策及投資進行情境規劃
- 瞭解新興交通技術的影響
- 評估運輸資產的生命週期成本
- 完善政府撥款要求，確保世代投資績效
- 發展合適研究能力應對挑戰
- 支持預測、應對和復原中斷事件的研究



17

2.2 運輸系統調適策略及措施(2/7)

澳洲維多利亞州政府–運輸部門氣候變遷調適計畫（2022）

■《交通氣候變遷調適行動計畫(2022-2026年)》，研提交通部門**3項優先事項**及**15項配套行動**



解決當前的氣候變遷影響

- 與運輸機構和產業夥伴合作
- 加強調適規劃及決策
- 增強運輸資產韌性
- **瞭解資產缺口，並優先進行保護**
- **增強跨系統合作**

降低行動阻礙

- **於規劃、建設、恢復和維護運輸資產時納入調適選項**
- 根據預測數據確定優先次序
- 針對政策、規劃和執行程序進行壓力測試
- **促進可提供有效調適方案的新興技術、融資模式等**
- 支持跨交通網路介面與共享知識的治理結構
- 以更廣泛的視角看待環境影響(如搭配減排行動調整策略)



為將來轉型變革奠定基礎

- 與地區交通主管機關協商合作
- 監測、審查和評估調適行動
- **思考整體生命週期納入氣候調適及制定預算的方式**
- **學習全球模範案例並支持測試調適方案的試驗和示範計畫**

18

2.2 運輸系統調適策略及措施(3/7)

紐西蘭交通部氣候變遷調適計畫（2022）

■**將調適策略納入長期規劃，並依照地點及時間尺度靈活運用調適因應四大框架**

- **避免未來的氣候危害**
  避免於可能面臨氣候災害的地區進行開發
- **因地制宜的運輸型態發展**
  開發時通過規劃和定位遠離暴露於氣候危害的地區
- **未來氣候風險管理**
  所有地點都有氣候風險，考慮避開原因，主動管理風險



- **替代道路和改道**
  主要路線因天氣事件關閉時，可以通過改道或替代道路進行管理
- **智能技術和可變資訊標誌**
  於發生緊急事故時，提供危險預警，通知用路人規劃改道
- **洪水和水資源管理**
  濕地可減少洪水對交通網絡基礎設施的影響

- **海岸保護**
  透過NbS方法抵禦風暴潮、消散波能、防止溢淹
- **洪水管理**
  透過集水區管理及涵洞設計防止洪水並減少侵蝕
- **穩定斜坡系統**
  使用灰色硬工程及綠色工程，控制侵蝕減少滑坡

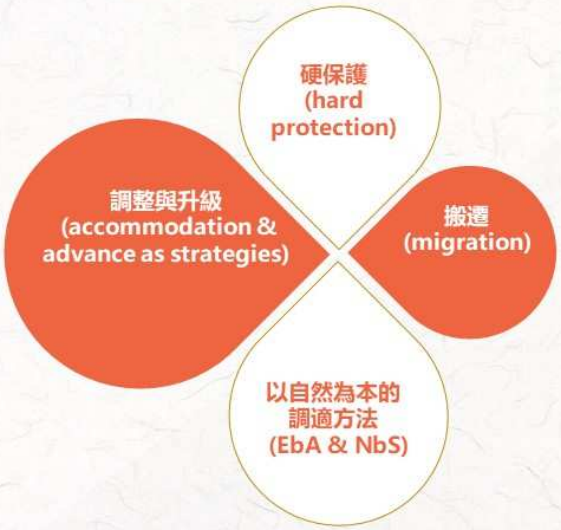
- **新增內陸道路**
  沿海道路改道內陸
- **原始沿海道路運用**
  搬遷後可拆除或重新利用基礎設施
- **增加開放空間**
  恢復自然海岸做為道路的保護

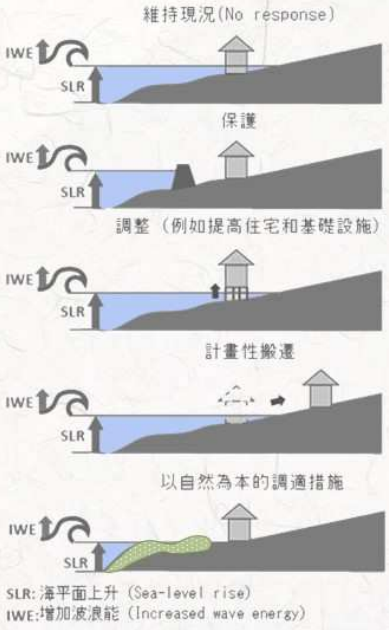
19

2.2 運輸系統調適策略及措施(4/7)

《AR6:衝擊、調適與脆弱度》運輸系統之調適選項（2022）

■ 《AR6:衝擊、調適與脆弱度》綜理國際上應用於運輸系統之調適選項





20

2.2 運輸系統調適策略及措施(5/7)

美國TRB - NCHRP
將調適措施的成本效益納入極端天氣事件和氣候變遷的準備工作指引（2020）

■ **將調適選項成本效益評估(CBA)納入既有運輸規劃流程**，目的係量化調適措施效益以決定執行的優先性，並研擬調適選項之預算編列



成本效益(CBA)的評估步驟



21

2.2 運輸系統調適策略及措施(6/7)

全球性交通組織城市交通轉型倡議TUMI - NbS運用於運輸部門實務案例（2023）

■ NbS運用於運輸可解決社會、經濟和生態永續問題，
並**可確保重大公共資產安全及達成多重效益**



智慧都市設計—韓國首爾的清溪川改造

首爾**將被道路覆蓋的河川改造成藍綠走廊**，不僅可作為天然空調、改善空氣品質及協助生態復育，更有助緩解城市淹水

都市高溫—哥倫比亞麥德林的綠色廊道

哥倫比亞麥德林**在全市開發30條相互連接的綠色廊道**，使該市氣溫降低攝氏2°C以上，有效改善混凝土導致的都市高溫

海岸淹水及侵蝕—海地的自然植被復育

為避免道路受到強降雨及風浪衝擊受損以致無法通行，透過復育自然植被、沼澤和沙丘等有助穩定並保護海岸線的自然元素做為**天然緩衝區，以保護道路基礎設施**

22

2.2 運輸系統調適策略及措施(7/7)

新科技應用於調適案例

中央大學與日本研發AI鋪面狀況調查車

- 配備高解析度相機與影像輔助辨識軟體，可呈現3D鋪面狀況
- 透過數據資料、鋪面管理系統及AI全面檢測鋪面狀況



公路局中區養護工程分局使用無人機橋梁檢測

- 透過無人機及深度神經網路影像AI辨識分析橋梁影像



港務公司導入5G及AI監測港口狀況

- 搭配AI智能分析、UTM無人載具智慧監管平台及5G專網傳輸無人載具資料全面掌握港區狀況



新科技應用

桃宜機場使用IoT感測器監控排水及跑道狀況

- 感測器提供滯洪池及跑道即時影像
- 影像傳輸至中央系統進行分析及預測



JR東日本導入LCMS-2檢測隧道

- 透過LCMS-2於車輛行駛時自動對鋪面進行地理標記、測量、檢測及量化



臺鐵導入AI巡查軌道構件系統

- 傳輸軌道影像供AI辨識軟體辨識軌道狀態

23

2.3 國內可借鏡處



調適主流化及制度化

氣候變遷具不確定性，先進國家運輸部門多致力有系統地將調適融入施政



勾勒未來長遠計畫

例如，紐西蘭交通部聚焦於未來十年為氣候變遷調適奠定堅實基礎



務實制定優先事項

例如，澳洲維多利亞州針對運輸系統提出三個優先事項及15項配套行動



爭取資金推動調適

例如，美國增加韌性項目的預算，以建立更具韌性的運輸系統



基礎研究及資料累積

進行本土氣候與運輸系統性能之關聯等基礎研究，蒐集累積相關基本資料，以利調適科學決策



科技應用及先導實驗

善用科技建構調適能力，同時開展先導實驗型計畫以培養對於氣候變遷調適的理解



採取綜合氣候行動

採取氣候行動時儘量兼顧減緩與調適(例如Nbs)，降低彼此競合並提高整合綜效



增進跨部門交流

調適屬跨部門業務，建立跨部門資料及經驗交流機制有助於機關能力建構

24



公路規劃調適案例蒐集及研析

3.1 公路規劃調適案例蒐集(1/4)

■國外案例蒐集範疇

資料來源	說明
美國聯邦公路管理局 (Federal Highway Administration, FHWA)	(1)美國交通部轄下之公路主管機關 (2)透過提供財政和技術援助，以支持各州和地方政府建設維護公路系統 (3)本計畫參考其網站公開之調適示範計畫，且皆以公路系統為探討主體
歐洲氣候調適平臺 (European Climate Adaptation Platform, Climate-ADAPT)	(1)歐盟執委會與歐盟環境署共同成立之平臺 (2)提供歐盟國家調適工作所需之多元資訊、案例與工具 (3)本計畫參考其蒐整之交通領域氣候變遷調適相關案例
世界公路協會 (World Road Association, PIARC)	(1)成員含括140多國的非營利、非政府組織 (2)透過世界公路大會、研討會等形式促進公路相關知識交流與共享 (3)本計畫參考其相關案例蒐整報告
歐盟FORESEE計畫	(1)由歐盟資助的研究計畫 (2)目標是為政府提供一套氣候變遷調適與韌性提升解決方案 (3)本計畫參考其解決方案之示範案例
臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺 (TCCIP)	(1)提供臺灣氣候變遷科學與技術研究服務，以及相關資訊之一站式服務 (2)本計畫參考調適百寶箱彙整之國內外參考案例

■案例整理及分類面向

氣候變遷情境與資料蒐集分析 → 氣候變遷風險評估 → 氣候變遷調適選項

■案例研析篩選原則

1. 不同區位面臨不同氣候壓力，因此需**涵蓋不同區位屬性**，包含沿海、內陸及山區
2. 需**完整操作三步驟**面向，包含氣候情境設定與氣候資料蒐集、風險評估及研擬調適選項

26

3.1 公路規劃調適案例蒐集(2/4)

■ 氣候變遷情境選擇

- 情境**來自過往研究**或數值模型模擬，並視需要**降尺度處理**或**加入氣候事件調整**
- 未來情境可用於**氣候風險評估**或**設計調適選項**

	案例執行單位	案例年期	案例說明
1	加拿大英屬哥倫比亞交通與基礎設施部 (BCMoTI)	2014.03	使用**加拿大維多利亞大學太平洋氣候影響聯合中心(PCIC)**的歷史氣象觀測資料及對於未來的推估成果，針對 1971-2000 與 2041-2070 年進行前後比較分析
2	美國賓夕法尼亞州運輸部(PennDOT)	2020.09	使用 RCP 4.5、8.5 兩種排放情境，透過 **8 種全球氣候模型(GCM)**，比較分析歷史和未來平均最大每日降雨量比率(1950-2005、2006-2050、2051-2099)，並**使用基於統計降尺度(ESDM)方法將大網格降雨數據降尺度處理**，以利進行地區性未來降雨推估
3	美國維吉尼亞州運輸部 (VDOT)	2016.09	使用 RCP4.5、6.0、8.5 **3種排放情境**，使用**美國墾務局(USBR)**公開的降尺度數據，使用 2035-2054、2055-2074、2080-2099 三個未來時間段的推估每日最低溫度、最高溫度、降雨量，以推估未來降雨及凍融日數變化
4	美國聯邦公路管理局 (FHWA)	2016.09	使用**美國國家科學研究委員會(NRC)和IPCC**預測的高、中、低海平面上升情境，並根據**美國陸軍工兵團(USACE)**的海平面變化曲線和鄰近的NOAA 驗潮儀考量局部垂直運動影響，評估 1992 至 2100 年間的地區性海平面上升情形
5	美國聯邦公路管理局 (FHWA)	2017.10	根據**過往研究推估成果** (2100年海平面上升0.8-1.5米)，設定2050及2100年海平面上升高、中、低情境 (1.5米、1米、0.5米)，並**使用2年潮汐風暴(FEMA-FIS)與桑迪颶風潮汐風暴(NOAA)等數據進行調整推估**
6	美國聯邦公路管理局 (FHWA)	2017.10	根據美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)發表於USACE之**北大西洋海洋綜合研究**推估之 2050 及 2100 年海平面上升高情境 (2.2ft、7.1ft)，並以 **100 年重現期風暴事件(FEMA-FIS)及氣溫變化(ClimAID)等數據進行調整推估**
7	美國德拉瓦州運輸部 (DelDOT)	2018.06	使用**特拉華州自然資源和環境控制部(DNREC)建議**的海平面上升高、中、低情境(1.5米、1米、0.5米)，評估至 2100 年的海平面上升情形
8	美國奧勒岡州運輸部 (ODOT)	2017.01	使用**美國國家科學研究委員會(NRC)過往研究**推估得出之 2050 年海平面上升高情境，**加上 100 年重現期風暴事件，情境條件主要用於設計調適選項**

27

3.1 公路規劃調適案例蒐集(3/4)

■ 氣候變遷風險評估

- 風險評估透過**專家評分量表**、**統計方法計算**、**模型模擬**等方式及工具進行
- 風險評估分為**初步評估**及**詳細評估**，設施受影響程度可以**有/無**或**分級**表示

	案例執行單位	案例年期	案例說明【公路類型/氣候壓力】
1	加拿大英屬哥倫比亞交通與基礎設施部 (BCMoTI)	2014.03	【海岸、內陸公路/降雨、風暴】 透過專家工作坊以**評分量表**方式，評估路段各個組成部分在13個氣候條件下的風險程度(發生機率(1-7分)x嚴重程度(1-7分))
2	Leijstra, M., Van Muiswinkel, K., Leendertse, W., & Bles, T.	2018.04	【內陸公路/極端降雨、洪水】 使用 ROADAPT 方法，**透過工作坊以半定量方式**進行風險評估(衝擊(1-4分)x可能性(1-4分))，確定五個關鍵風險，並產出脆弱性地圖
3	美國維吉尼亞運輸部(VDOT)	2016.09	【山區公路/極端降雨】 **透過 SLOPE/W 軟體**，評估未來降水量增加情況下造成的地下水位升高及土壤重量增加，與斜坡安全係數和破壞趨勢的關係
4	美國德拉瓦州運輸部(DelDOT)	2018.06	【海岸公路/海平面上升、洪水】 初步評估以 NOAA 沿海洪水暴露測繪儀評估洪水淹沒情形；詳細評估使用LiDAR 地面高程等現地資料，**建模評估**不同事件下的洪水影響情形
5	美國賓夕法尼亞州運輸部 (PennDOT)	2020.09	【內陸公路/極端降雨、洪水】 將推估降雨量作為重要水力參數，**使用 HEC-HMS、HEC-RAS評估**洪水量、洪水位及速度，並評估對道路橋梁的影響
6	美國馬薩諸塞州運輸部 (MassDOT)	2016.12	【海岸公路/海平面上升、風暴】 **使用蒙地卡羅統計方法**得到未來年洪水發生機率及深度，並**使用耦合模型 BH-FRM 模擬**沿海風暴造成的影響
7	美國聯邦公路管理局 (FHWA)	2017.10	【海岸公路/海平面上升、暴潮】 評估研究區域在不同年度、海平面上升高情境及風暴情境下的預估水位，並產出淹沒範圍圖及**評估設施受影響的等級**

28

3.1 公路規劃調適案例蒐集(4/4)

■ 氣候變遷調適選項

- 調適選項提出程度可分為**初步建議**、**調適選項清單**及針對選定調適選項進行**成本效益分析**，部分融入以自然為本的解決方案**(NbS)概念**
- 透過選定特定地點、氣候壓力或未來情境，有助於進行**更詳細的設計**

	案例執行單位	案例年期	案例說明【公路類型/氣候壓力】
1	美國維吉尼亞州運輸部(VDOT)	2016.09	【山區公路/極端降雨】 **初步提出**梯田措施(Terracing Measures)、添加攔截溝等手段處理邊坡不穩定問題，但未說明成本及效益
2	美國聯邦公路管理局 (FHWA)	2016.09	【海岸公路/海平面上升、暴潮】 提出放棄保護、傳統保護、**基於自然的保護**三種調適方案，並**評估比較其優缺點、成本及效益**
3	美國德州科珀斯克里斯蒂大都會規劃組織(Corpus Christi MPO)	2021.06	【海岸公路/海平面上升、暴潮】 研究礁球防波堤、拋石防坡堤、**填充沼澤(Marsh Fill)**之成本及效益
4	美國聯邦公路運輸部(FHWA)	2017.10	【海岸公路/海平面上升、暴潮】 **針對 2100 年中等海平面上升和 2 年潮汐情景設計調適策略**，提出提高部分路段並建造海堤，並評估其成本效益、環境影響
5	美國德拉瓦州運輸部 (DelDOT)	2018.06	【海岸公路/海平面上升、洪水】 **針對 2 個選定地點進一步規劃設計**，提出合適的調適選項並**計算其成本及效益**，調適選項包含**恢復沼澤和牡蠣殼礁岸**
6	美國奧勒岡州運輸部(ODOT)	2017.01	【海岸公路/海平面上升、暴潮】 **針對 3 個選定地點，2050 年海平面上升高等情境下之 100 年重現期風暴事件**，提出相應的**綠色調適選項**，並評估其優劣勢及建造成本
7	美國賓夕法尼亞州運輸部 (PennDOT)	2020.09	【內陸公路/極端降雨、洪水】 **開發兩種韌性設計清單**，適用典型橋梁、適用與溪流平行的道路，比較各韌性設計選項在現在與未來 (2100 年RCP 8.5) 的成效差異
8	美國聯邦公路管理局 (FHWA)	2017.10	【海岸公路/海平面上升、暴潮】 團隊根據範圍內其他計畫及研究，創建了一個綜合考量風險承受能力、投資水準、長短期等因素的**調適工具箱**

29

3.2 公路規劃調適案例研析(1/4)

案例一 颶風桑迪後運輸系統韌性研究：紐澤西州拉里坦灣南岸（2017）

01 案例背景

本案例為桑迪颶風後美國聯邦公路管理局（FHWA）針對紐澤西州拉里坦灣南岸的一項**區域運輸韌性研究**，該區域運輸系統長期受到沿海風暴影響，案例針對鐵公路系統進行風險評估，並針對高風險地區提出潛在可行的調適策略

02 調適作為

氣候變遷情境與資料蒐集

- 聚焦於**海平面上升**及**風暴潮**兩項氣候壓力
- 該系統為區域**主要通勤路線**，且為**災時重要疏散及救災路線**，故使用**「高推估」情境**進行分析

海平面上升與浪高情境

項目		波浪高度	
		百年頻率風暴事件	百年頻率風暴事件 +6.8 ft浪高
海平面上升	基線	13.00 ft	19.80 ft
	2050年 (+2.22 ft)	15.22 ft	22.02 ft
	2100年 (+7.10 ft)	20.10 ft	26.90 ft

氣候變遷風險評估

- **可能性**：以淹沒深度替代(海水位 - 設施高程)，表示相對暴露程度
- **後果嚴重性**：交通量、低收入戶及少數族群比例
- 透過**疊圖分析**討論風險



因應氣候變遷調適選項

- 應掌握過去調適相關研究與計畫
- 依據**風險承受能力**、**投入預算**和**期程**，將調適選項區分為四象限

調適選項清單

	短期	長期
風險承受度高/投入預算低	調適選項更傾向於管理手段	提升調適能力和減少後果，隨風險增加亦考量設施問題
風險承受度低/投入預算高	更積極的解決潛在設施損壞	針對可能的最重災損提出預防措施

30

3.2 公路規劃調適案例研析(2/4)

案例二 針對荷蘭InnovA58高速公路提出氣候變遷調適策略（2018）

01 案例背景

本案例為美國聯邦公路管理局（FHWA）和荷蘭交通水利管理局（RWS）之雙邊合作計畫，透過雙方**氣候變遷調適框架**，評估荷蘭 InnovA58 公路擴建計畫之氣候風險，並規劃調適路徑

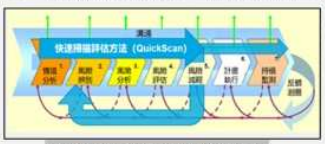
02 調適作為

氣候變遷情境與資料蒐集

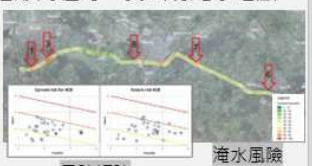
- 使用荷蘭氣象研究所（KNMI）制定的情境（2050–2085年）
- 研究重點關注**短延時強降雨**事件

氣候變遷風險評估

- 運用 ROADAPT **快速掃描評估方法（QuickScan）**，透過**工作坊**進行風險指認
- 開發當前風險矩陣，並根據情境轉化為未來風險矩陣
- 根據現場訪談、排水系統、地形高程等，找出易淹水地點



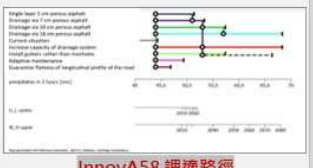
ROADAPT快速掃描評估方法



風險矩陣　淹水風險

因應氣候變遷調適選項

- 擬定**調適路徑**，將未來可採行的選項視覺化
- 選項達**「臨界點」**時，可掌握其替代調適選項組合
- 於採購契約中要求承包商須納入氣候調適考量



InnovA58 調適路徑

31

3.2 公路規劃調適案例研析(3/4)

案例三 氣候變遷脆弱度評估與調適選項研究 – 奧勒岡州段高速公路（2014）

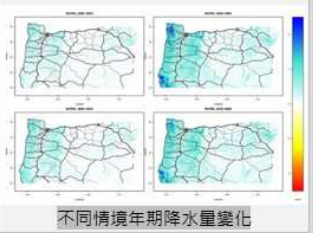
01 案例背景

本案例針對奧勒岡州克拉索普郡和蒂拉穆克郡 10 條高速公路路廊進行整體脆弱度評估，並選擇其中脆弱程度高且被視為生命線道路的 101 號高速公路做為研究範圍深入評估，針對其中 5 個示範地點提出調適選項，並進行成本效益分析

02 調適作為

氣候變遷情境與資料蒐集

- 蒐集中等（RCP4.5）與最劣（RCP8.5）情境下，近期（2006-2035）與長期（2036-2065）的降雨量及海平面上升變化



不同情境年期降水量變化

氣候變遷風險評估

- 確立關鍵資產，並召開工作坊進行資產脆弱度評估



高速公路脆弱度等級

因應氣候變遷調適選項

- 針對高脆弱度的101號高速公路選定 5 個示範地點，提出調適選項，並計算建設與維護成本

示範地點	危害類型
Arch Cape	山崩、海岸侵蝕
Falcon Cove	山崩（填方邊坡破壞）
Gallagher Slough	海岸侵蝕、路基沖刷
Jetty Creek	山崩、海岸侵蝕
Rockaway Beach	海岸侵蝕、路基沖刷、碎屑


邊坡填方補強


海岸懸崖公路

3.2 公路規劃調適案例研析(4/4)

案例四 臺灣桃園國際機場第三跑道及基礎設施綜合規劃（2022）

01 案例背景

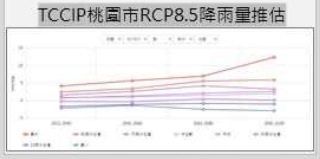
本案例為桃機公司根據氣候相關財務架構揭露建議（TCFD）識別氣候變遷對於機場之影響與風險，並提出因應措施，並於2022年「臺灣桃園國際機場第三跑道及基礎設施**綜合規劃**暨基本設計」計畫中採取具體因應措施

02 調適作為

氣候變遷情境與資料蒐集

- 透過 TCCIP 網站，蒐集桃園地區 **RCP8.5 情境下之降雨量推估資訊**
- 結果顯示，極端降雨強度及頻率增加河川流量增加，有**溢堤淹水之風險**
- 機場**保護標準**設定為鄰近溪流 **200 年重現期洪水位**

TCCIP桃園市RCP8.5降雨量推估



氣候變遷風險評估

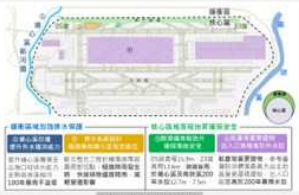
- 機場公司透過 TCFD 機制進行風險辨識，依據發生可能性與營運衝擊程度繪製**風險矩陣**
- 結果顯示 3 項高風險議題為**淹水**、**強風**及**降雨模式改變**



風險議題分析矩陣

因應氣候變遷調適選項

- **核心區策略**包含抬升跑滑道、航廈等重要建物出入口高程
- **緩衝區策略**包含埔心溪改道、將暴雨引至指定區位



規劃調適策略

3.3 案例啟示

	重要啟示	國內可借鏡處
氣候變遷情境與氣候資料	持續建構本土氣候觀測資料	• 發現並補足本土氣候觀測資料缺口
	推出國家氣候推估情境數據	• 推出國家統一性未來情境數據，並提供降尺度資料
	記錄歷史氣候事件數據	• 記錄數據包含事件持續時間、發生頻率、嚴重程度等
	依照資料及需求採用不同推估情境	• 考量設施重要程度、服務對象脆弱度、風險承受度、投資預算規模、計畫年期等，採用不同推估情境
氣候變遷風險評估	依照資料及需求進行不同程度風險評估	• 考量資料完備度，進行專家評分量表、數值統計方法、模型模擬等不同程度風險評估
	瞭解氣候壓力對不同設施的風險差異	• 相同類型氣候壓力對不同設施或相同類型不同級別設施，可能產生不同程度風險
	以參數分析進行量化評估	• 又稱為敏感性分析，測試合理範圍內參數之破壞閾值，節省儀器監測或數據蒐集之費用與時間
氣候變遷調適選項	依照資料及需求提出不同程度調適選項	• 考量資料完備度、風險承受度、投資預算規模、計畫年期等，提出初步建議、調適選項清單等
	運用及規劃調適路徑	• 將未來時間內不同氣候情境下，所有可能的調適選項視覺化呈現，以分階段實施並滾動調整
	掌握相關調適計畫與研究	• 掌握研究區域進行中、過去和未來的相關調適計畫與研究
	將氣候調適考量納入專案契約	• 將調適需求納入專案採購契約

34



04
Chapter

公路規劃調適指引滾動檢討

4.1 前期指引概述(1/2)

1 導讀
- 指引目的、適用範疇及對象
- 調適名詞定義、氣候變遷調適之基本概念
- 氣候變遷調適之最新發展趨勢
- 指引結構

2 氣候變遷對公路系統的衝擊
- 臺灣氣候變遷推估資訊
- 氣候變遷對公路系統之衝擊

3 公路系統規劃階段調適機制
- 公路系統規劃作業流程融入調適概念之框架
- 第一階段:如何蒐集與分析氣候變遷相關資料
- 第二階段:如何初步評估影響調適能力之氣候風險因素
- 第三階段:如何執行氣候變遷風險評估
- 公路跨其他運輸系統調適介面整合機制
- 回顧本章重要觀念

4 公路系統規劃階段調適方法
- 公路系統氣候衝擊鏈分析方法
- 公路系統氣候風險評估之方法
- 公路系統因應氣候變遷衝擊之調適選項
- 面對高度不確定性之決策方法
- 回顧本章重要觀念

5 結語
- 結語
- 學習資源

36

4.1 前期指引概述(2/2)



37

4.2 公路調適指引檢討作業流程

■ 作業流程

1. 機關交流及專家深度訪談

公路設施主管機關訪談 | 公路規劃顧問公司訪談 | 其他領域機關訪談交流

2. 公路示範案例演示及專家工作坊辦理

示範案例演示 | 專家工作坊辦理

3. 指引修訂意見彙整及檢討

指引檢討重點討論 | 改版前後重要差異綜理

4. 指引後續推動建議

38

4.3 機關交流及專家深度訪談

■ 機關交流及專家深度訪談

- **前期(111年)公路指引初稿及本期調適案例研析為基礎**，與公路專家、機關進行訪談及會議等溝通交流後 ，綜整國內重要調適課題並提出強化指引應用之建議
- 完成10場國內公路專家及機關訪談/會議交流(計27人次)

公路專家	中興工程顧問(5/4) 易緯工程顧問(5/11) 林同棪工程顧問(5/12)
其他領域機關	經濟部能源署及乙方團隊工研院(5/3) 經濟部水利署水利規劃分署(6/1) 經濟部產業發展署乙方團隊綠基會(6/2)
公路機關	高公局規劃組/工務組(6/13) 公路局養路組/公路防災中心(7/25) 公路局規劃組(7/18提供書面意見、7/31透過會議進行意見交流)
調適課題 強化指引應用建議	綜理公路專家學者、公路機關及其他機關訪談之建議，彙整國內重要調適課題並提出強化指引應用之建議

39

4.4 公路示範案例演示及專家工作坊辦理(1/2)

■ 公路示範案例演示及專家工作坊辦理

- 透過國內公路示範案例操作**確認公路規劃三階段調適框架之實務操作可行性**，並滾動**檢討公路調適指引內容**

研究示範案例選定

選定適合做為公路調適指引研究之國內公路示範案例
- 計畫階段：可行性評估、綜合規劃
- 公路系統類別：省道
- 計畫區位：道路位於易受氣候衝擊地區，如西部沿海地區等

研究示範案例相關資源盤點

盤點國內公路規劃融入調適所需資源，瞭解目前可取得之資源現況
- 盤點利益相關者
- 蒐集案例相關計畫報告及調適工作所需資料
- 依據調適指引步驟試操作示範案例

示範案例實作
(專家工作坊綜合討論)

研析國內示範案例，驗證三階段框架操作流程之可行性並辦理工作坊
- 討論主題一：蒐集與分析氣候變遷情境與氣候相關資料
- 討論主題二：初步評估影響調適能力之氣候風險因素、執行氣候變遷風險評估

檢討公路調適指引

蒐整參與機關及專家建議，提出適合國內之公路氣候變遷調適操作流程
- 提出公路氣候變遷調適操作流程方法及示例
- 蒐整公路機關及專家意見，滾動檢討公路調適指引

40

4.4 公路示範案例演示及專家工作坊辦理(2/2)

會議時間地點
- 112.10.12
- 交通部運研所5樓會議室

與會人員
- 公路設施權責機關：交通部公路局
- 氣候資料提供機關：國家災害防救科技中心
- 公路規劃顧問公司：台灣世曦工程顧問公司、易緯工程顧問公司
- 氣候變遷調適顧問團隊：鼎漢國際工程顧問公司
- 其他與會機關：交通部高速公路局、中興工程

討論議題
- 確認氣候變遷相關資料蒐集與分析之完備性
- 辨識專案面臨之氣候壓力與衝擊，並指認相關氣候風險因素
- 研議適用於專案之風險評估指標、閾值與權重
- 執行氣候變遷風險評估作業
- 研議中高風險區域之調適策略與措施





41

4.5 指引修訂意見彙整及檢討(1/3)

■ 機關交流、專家深度訪談及專業工作坊之意見暨處理方式

01 指引名稱、定位及範疇再確認

指引名稱增加「氣候變遷」；屬框架層次的指引，主要內容為引介理念、程序及方法，並**運用案例說明操作流程**，以利理解

02 名詞定義清楚說明，以利理解

採氣候變遷因應法暨相關子法等具公信力的國際機構之定義，必要時採公路規劃觀點加註解。

03 調適理念融入規劃流程建議

增補「可行性研究」及「綜合規劃」報告書之基本要求事項，並將「調適選項」納入氣候變遷風險評估表

04 氣候變遷情境選擇、設定及所需資料之來源、運用等問題

為回應上述問題，增補如何蒐集與分析氣候變遷相關資料之作業方法

05 氣候變遷風險評估作業之相關問題

增納前置作業，並加強說明氣候變遷風險評估之**定性評估方法**，以及有哪些必要的工作等

06 增補公路調適案例以利理解

增納附錄公路規劃調適案例，以完整公路調適示範案例演示說明三階段調適工項的關聯性

42

4.5 指引修訂意見彙整及檢討(2/3)

1 導讀	指引目的、適用範疇及對象 調適名詞定義、氣候變遷調適之基本概念 氣候變遷調適之最新發展趨勢 指引結構
2 氣候變遷對公路系統的影響	全球暖化與氣候變遷推估 臺灣氣候變遷趨勢 氣候壓力對公路系統之衝擊
3 公路系統規劃階段強化調適能力機制	公路系統規劃作業流程導入調適概念之框架 第一階段：蒐集與分析氣候變遷相關資料 第二階段：初步評估影響調適能力的氣候風險因素 第三階段：執行氣候變遷風險評估 本章重要觀念
4 前置作業	界定評估背景、訂定目標與預期成果 組成調適工作小組 確定評估範疇與方法、設定時間範疇 蒐集氣候變遷相關資料與分析方法 其他相關程序
5 公路系統規劃階段氣候變遷風險評估作業方法	公路系統氣候衝擊鏈分析方法 公路系統氣候風險評估方法 本章重要觀念
6 公路系統調適選項及決策方法	公路系統因應氣候變遷之調適選項 面對高度不確定性之決策方法 本章重要觀念
7 結語	結語並提供調適相關學習資源
附錄	公路系統規劃階段調適案例演示

43

4.5 指引修訂意見彙整及檢討(3/3)

公路規劃	氣候變遷調適作業	作業程序及方法	作業成果
	前置作業	方法參見第四章	
第一階段 資料蒐集分析	氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析	回顧過往氣候形態 → 未來氣候變遷情境設定 → 氣候相關資料蒐集與分析 程序參見3.2節；方法參見5.1節	回答下列五項問題並彙整成表： 1.面臨之氣候壓力與衝擊 2.可能的衝擊區位與範圍 3.可能的風險 4.可能的影響程度 5.潛在因應對策 示例如表3-1
第二階段 方案研擬與評估	初步評估影響調適能力的氣候風險因素	指認氣候風險因素 → 初步評估影響調適能力的氣候風險因素 程序參見3.3節；方法參見5.2、5.3節	可研報告產出「潛在氣候變遷風險說明表」，基本要求如下： ● 分析尺度：路網/路廊 ● 結構化方式說明影響區位、風險因素、衝擊內容、風險評級與因應策略 示例如表3-2
第三階段 工程研究與評估	氣候變遷風險評估	執行氣候變遷風險評估 → 回報評估結果 程序參見3.4節；方法參見5.2、6.1、6.2節	綜規報告產出「氣候變遷風險評估表」，基本要求如下： ● 分析尺度：路段 ● 以前階段說明表為基礎，著重中度風險以上區位，進行關鍵組件的風險評估，並提出調適策略/措施 示例如表3-3

44



5.1 示範案例概述

- 計畫名稱：**西濱曾文溪橋段新建工程計畫 (省道快速公路)**
- 計畫區位：臺南市七股區、安南區
- 計畫路線：全長約3,380M
- 計畫階段：

可行性評估(更新評估)：105年9月30日行政院核定
綜合規劃：108年5月13日交通部公路局原則同意
建設計畫(第1次修正)：111年8月19日行政院核定
111年12月4日開工，預計117年5月25日完工





46

5.2 公路規劃融入調適理念框架

依據「公路系統規劃階段氣候變遷調適指引」，建議將調適概念融入公路規劃流程：於既有流程增納**前置作業**以及(1)氣候變遷情境及氣候相關資料蒐集與分析、(2)初步評估影響調適能力的氣候風險因素以及(3)氣候變遷風險評估之**三階段調適工作項目**

前置作業

1. 蒐集與分析氣候變遷情境與氣候相關資料

回顧過往氣候形態	未來氣候變遷情境設定	氣候相關資料蒐集與分析

2. 初步評估影響調適能力的氣候風險因素 (可行性研究階段執行)

指認氣候風險因素	初步評估影響調適能力的氣候風險因素

3. 氣候變遷風險評估 (綜合規劃階段執行)

執行氣候變遷風險評估	回報評估結果

47

5.3 前置作業

1 界定評估背景

- 以「西濱曾文溪橋段新建工程計畫」為示範案例
- 依照公路規劃流程三階段導入調適作業機制，執行氣候變遷風險評估與研擬調適選項

2 訂定評估目標與預期成果

- 目標：執行氣候變遷風險評估，針對中高風險區位提出調適措施
- 預期成果：產出氣候變遷風險評估

3 組成調適工作小組

- 公路設施權責機關
- 河川流域治理機關
- 氣候資料提供機關
- 公路規劃顧問公司
- 氣候變遷調適顧問團隊

4 確定評估範疇

- 區位：由西濱快速公路台61線末端爲起點，跨越曾文溪銜接台江大道
- 路網/路廊尺度：平面道路、高架橋梁(主橋、邊橋、引橋)
- 路段尺度：材料、結構(橋面、淨高)、基礎(橋墩)、排水

5 設定時間範疇

- 以100年橋梁設計年限為評估年期(世紀末)

6 確定評估方法

- 半定量風險評估方法：選擇採用「專家工作坊」方式進行評分

7 蒐集相關資訊

- 交通部公路局西濱快速公路曾文溪橋相關規劃報告
- 水利署曾文溪河川或流域相關規劃報告

5.4 蒐集與分析氣候變遷相關資料(1/11)

回顧過往氣候形態

步驟如下:

① 依據專案所在區位特徵，瞭解過往氣候形態及可能面臨之氣候壓力

② 蒐集養護紀錄、監測資料、歷史災害紀錄等當地資料

③ 初步掌握氣候變遷對計畫範圍可能產生的影響

未來氣候變遷情境設定

步驟如下:

① 確立專案所採用的評估年期

② 確立專案所採用的氣候變遷情境設定

③ 說明**未來氣候變遷情境***

*配合中央科技主管機關對於本土**未來氣候變遷情境推估**等最新資訊補充說明

氣候相關資料蒐集與分析

步驟如下:

① 依據專案特性指認應納入考量的氣候參數及相關環境相關變異資料

② 蒐集未來氣候變遷情境之氣候推估資訊

③ 針對無法研判資料蒐集需求、資料尺度無法滿足、資料缺乏等情形，建議與相關主管機關及領域專家研商討論

5.4 蒐集與分析氣候變遷相關資料(2/11)

回顧過往氣候形態

根據指引，影響臺灣公路系統之五大氣候壓力為：強降雨、暴潮/風浪、海平面上升、強風、高溫

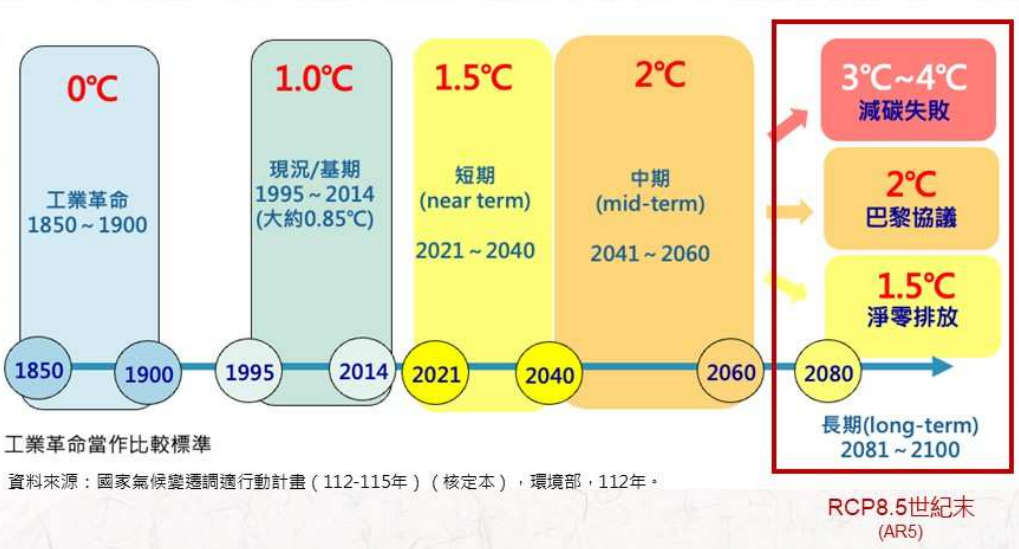
分類		資料名稱	空間尺度	時間尺度	單位	資料來源
氣候壓力	強降雨	年雨量	臺南測站	1971-2021	公釐	TCCiP
			曾文溪流域	1971-2021	公釐	TCCiP
	暴潮/風浪	颱風暴潮高度	臺南沿海	現況(1978-2017)	公尺	TCCiP
		颱風風浪高	臺南沿海	現況(1978-2017)	公尺	TCCiP
	強風	海岸風速	全臺沿海	現況(1978-2017)	公尺/秒	TCCiP
	高溫	年均溫	臺南測站	1971-2021	攝氏	TCCiP
		高溫大於35°C日數	臺南測站	1971-2021	天	TCCiP
河川水文		曾文溪河川基礎資訊	河道斷面、河口暴潮位(起算水位)、洪峰流量、流速、河床沖淤變化、計畫洪水位、計畫堤頂高、現況堤頂高、出水高			曾文溪水系曾文溪治理規劃檢討
歷史災害		近5年歷史淹水災點	全臺	2018-2022	-	NCDR 3D災害潛勢地圖
災害潛勢		淹水潛勢圖(650mm/24hr)	臺南/40m網格	2015	公尺	NCDR 3D災害潛勢地圖
		暴潮溢淹潛勢圖(50年重現期)	臺南沿海	2020	公尺	臺南市一級海岸防護計畫
		地層下陷潛勢	臺南市濱海陸地未達2公分/年、歷年累計下陷量未達50公分之中潛勢界限，故未繪製潛勢圖			臺南市一級海岸防護計畫

50

5.4 蒐集與分析氣候變遷相關資料(3/11)

未來氣候變遷情境設定

根據環境部之國家氣候變遷調適行動計畫（112-115年）（核定本），綜整IPCC AR6各情境推估與科學模擬依據，並考量調適工作推動經驗檢討與操作之可行性，**優先採「固定暖化情境」作為「國家調適應用情境」**



資料來源：國家氣候變遷調適行動計畫（112-115年）（核定本），環境部，112年。

51

5.4 蒐集與分析氣候變遷相關資料(4/11)

未來情境氣候相關資料蒐集

根據指引，影響臺灣公路系統之五大氣候壓力為：強降雨、暴潮/風浪、海平面上升、強風、高溫

氣候壓力	資料名稱	空間尺度	時間尺度	單位	資料來源
強降雨	極端降雨(650mm/24hr)發生機率	臺南/40m網格	1.5°C/2°C/4°C	危害度等級	Dr.A
	年最大日降雨最大值變化率	全臺/5km網格	1.5°C/2°C/4°C	%	TCCiP
	累積雨量變化率(6、12、24小時延時)	曾文溪流域	RCP8.5世紀中	%	TCCiP
暴潮/風浪	颱風暴潮高度	臺南沿海	RCP8.5世紀末	公尺	TCCiP
	颱風風浪高	臺南沿海	RCP8.5世紀末	公尺	TCCiP
海平面上升	海平面上升溢淹圖	臺南沿海	2°C/4°C	公尺	NCDR從IPCC AR6報告看氣候變遷衝擊與調適簡報(111.03.25)
強風	海岸風速	全臺沿海	RCP8.5世紀末	公尺/秒	TCCiP
高溫	年最大日高溫變化量	全臺/5km網格	1.5°C/2°C/4°C	攝氏	TCCiP
	極端高溫持續指數(HWDI)	全臺/5km網格	1.5°C/2°C/4°C	天	TCCiP

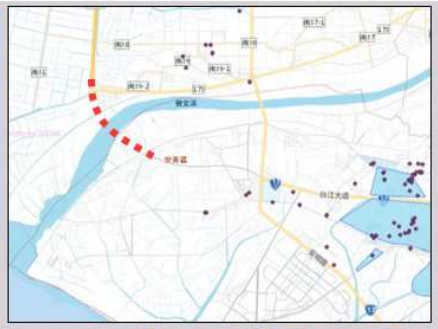
52

5.4 蒐集與分析氣候變遷相關資料(5/11)

參考資料及圖資

歷史災害 / 災害潛勢

近5年歷史淹水災點



淹水潛勢圖 650mm/24hr



暴潮溢淹潛勢圖 (50年重現期+1.68/1.74)



淹水歷史災點、淹水潛勢及暴潮溢淹潛勢集中於計畫南北兩側魚塭周邊

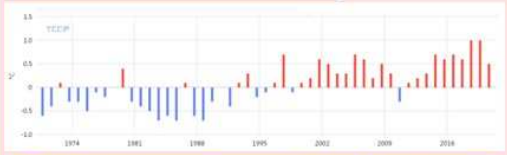
53

5.4 蒐集與分析氣候變遷相關資料(6/11)

參考資料及圖資

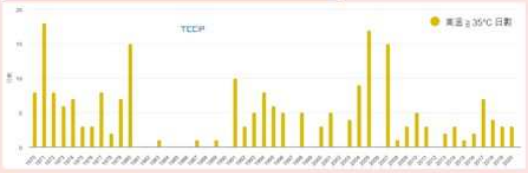
高溫

臺南測站過去50年年均溫觀測距平值



臺南測站基年(1981-2010年)年均溫為24.3°C，過去50年年均溫介於23-25°C，近10年年均溫有逐漸增加趨勢，約增加0.5-1°C

臺南測站過去50年高溫大於35°C日數



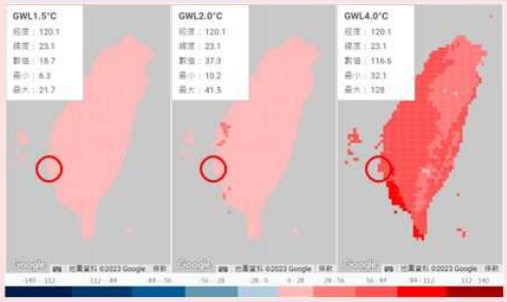
臺南測站過去50年高溫>35°C日數無明顯變化趨勢

年最大日高溫變化量



極端高溫持續指數 HWDI

註：一年之中，連續3天以上日最高溫高於基期第95百分位數之事件總天數，單位為天



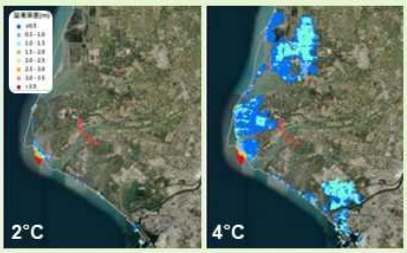
臺南於1.5°C、2°C及4°C情境下，日高溫最大值及極端高溫持續指數均有增加趨勢

5.4 蒐集與分析氣候變遷相關資料(7/11)

參考資料及圖資

海平面上升

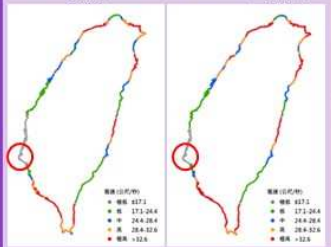
- **臺灣目前尚未推出全臺海平面上升推估圖，全臺推估圖預計2023年底推出** (臺南資料係擷取自NCDR公開簡報資料)
- 依據IPCC AR6模式模擬結果，升溫2°C及4°C情境下，可能導致臺灣周邊海域海平面上升0.5公尺及1.2公尺
- 在4°C情境下，計畫範圍北側可能發生約0.5公尺溢淹情形



強風

海岸海面風速

現況 RCP8.5世紀末



臺南沿海海面風速無明顯變化趨勢，均低於17.1m/s

暴潮/風浪

颱風暴潮高度

現況 RCP8.5世紀末



臺南沿海颱風暴潮高度有略微增加趨勢，約增加0.3-0.6公尺

颱風風浪高度

現況 RCP8.5世紀末



臺南沿海颱風風浪高度無明顯變化趨勢，均低於3公尺

5.4 蒐集與分析氣候變遷相關資料(8/11)

參考資料及圖資

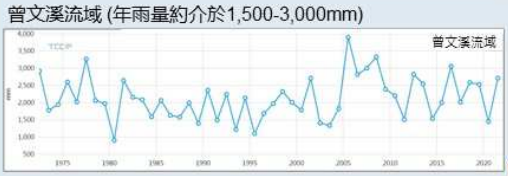
強降雨

過去50年年累積雨量觀測值

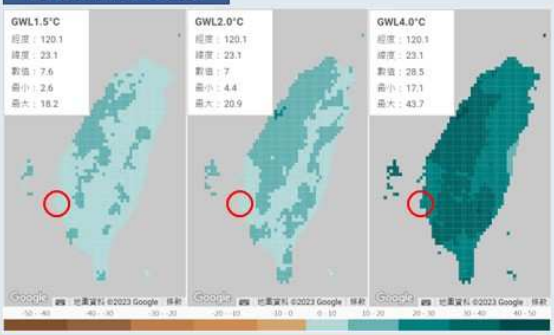
臺南測站 (年雨量約介於1,000-2,500mm)



曾文溪流域 (年雨量約介於1,500-3,000mm)



年最大日降雨量變化率



1.臺南世紀中以前降雨量變化率約7%，世紀末可達約30%
2.極端降雨發生機率高地區集中於南北兩側排水及魚塭周邊

危害度等級_650mm/24hr極端降雨事件發生機率



5.4 蒐集與分析氣候變遷相關資料(9/11)

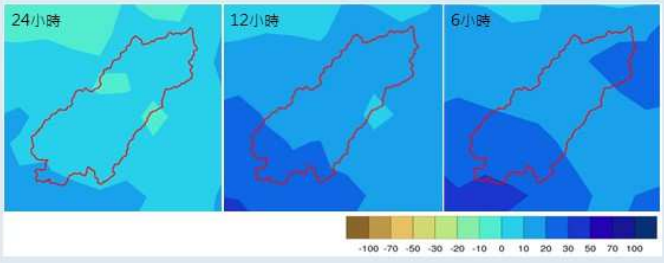
參考資料及圖資

- 計畫路線約位於曾文溪河川斷面 10~12 位置處
- 河口至麻善大橋（斷面0~斷面58）河段，因兩岸防洪構造物大致完備，故主深槽之迫近對於結構物基礎恐造成影響，河口左岸青草崙堤防（斷面5~斷面9）有深槽迫近堤岸之情況

斷面	累距 (m)	洪峰流量 (CMS)	通水面積 (m^2)	流速 (m/s)	計畫洪水位 (m)	計畫堤頂高 (m)	左岸(青草崙)檢討 (m)		右岸(海埔)檢討(m)	
							現況堤頂高	出水高	現況堤頂高	出水高
11	4792	13200	7149	1.85	4.08	6.69	6.52	2.44	6.58	2.50
12	5290	13200	6578	2.01	4.22	6.82	6.09	1.87	6.73	2.51

註：計畫堤頂高檢討小於-0.50公尺係為出水高小於1.0公尺河段，無須立即改建，於日後橋梁新建或改建時，配合改建至計畫堤頂高以上

累積雨量變化率-世紀中前30%事件



曾文溪流域世紀中前30%降雨事件，累積雨量變化率24小時約增加5%、12小時約增加16%、6小時約增加20%

5.4 蒐集與分析氣候變遷相關資料(10/11)

預期成果

針對規劃專案，建議透過資料蒐集及分析，於所選用的未來氣候變遷情境下，回答以下五項問題並彙整成表(建議諮詢專業機構或專家)

選用情境：世紀末升溫4°C(AR6)、RCP8.5(AR5)

- 問題1：未來專案及周邊地區將面臨那些氣候壓力？
- 問題2：這些氣候壓力對於專案及周邊地區可能的影響是甚麼？那些區位、範圍相對易受影響？
- 問題3：對於專案可能的風險是甚麼？
- 問題4：可能的影響程度為何？
- 問題5：有哪些潛在因應對策可運用？

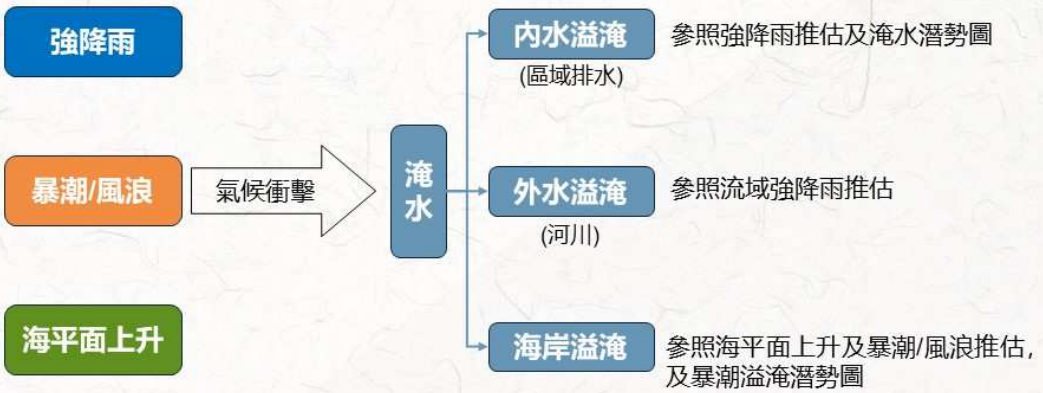
曾文溪橋新建計畫氣候變遷資料蒐集分析資訊綜理表

氣候壓力	可能的衝擊	易受衝擊區位、範圍	風險研判	影響程度	潛在因應對策
強降雨	1.地表逕流造成平面道路溢淹（內水） 2.河川越堤造成平面道路溢淹（外水） 3.強降雨造成河川流域達到洪峰，挾帶大量砂石撞擊橋墩，並掏刷橋基河床（流域）	1.地勢低窪地區 2.河道範圍（視流域土砂安定情況，擴大評估範圍至上游流域集水區）	1.道路淹水阻斷通行 2.橋台、引道受損阻斷交通 3.橋基損毀/裸露影響橋梁穩定性	嚴重	1.在可容許中斷時間內，擬妥替代方案包含搭設便橋、規劃替代道路、預警性封閉等 2.加強路基/橋基保護工 3.減少落墩 4.加長深基礎
暴潮	海岸暴潮造成平面道路溢淹	沿海地區	道路淹水阻斷通行	可能嚴重	
海平面上升	海平面上升造成海岸線退縮，平面道路溢淹	沿海地區	道路淹水阻斷通行	可能嚴重	

58

5.4 蒐集與分析氣候變遷相關資料(11/11)

氣候壓力源與氣候衝擊分析



~~強風~~

現況與未來變化幅度差異不大，且在現況條件下，於原有公路規劃過程中即應有所考量，因此本此暫不針對強風、風浪進行後續評估

~~高溫~~

初步研判升溫幅度及高溫持續程度不致對本案例之計畫道路造成重大影響微，因此本次亦暫不針對高溫進行後續評估

59

5.5 初步評估影響調適能力的氣候風險因素(1/4)

指認氣候風險因素

步驟如下:

① 指認公路系統所面臨的**氣候壓力(及危害因素)**

② 指認公路系統的**暴露因素**及**脆弱因素**

初步評估影響調適能力的氣候風險因素

步驟如下:

① 先確認是否有**前例可依循**，初步了解影響調適能力之氣候因素

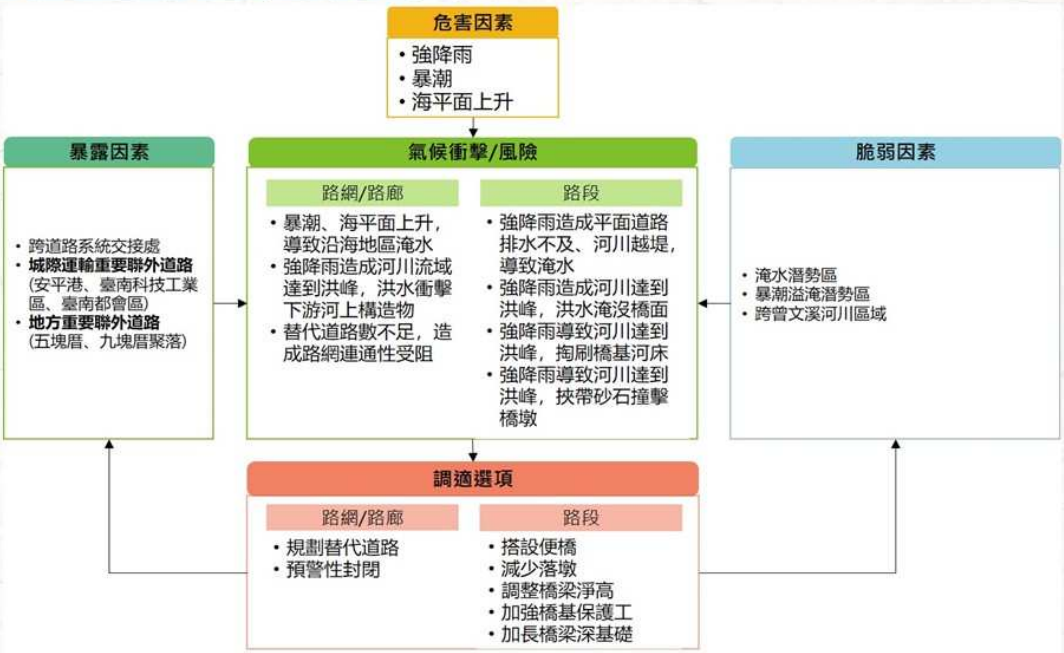
② 若無則透過**調適工作小組**等方式邀集**有經驗之專業者**共同研判初步評估，指認影響公路系統(資產) 調適能力之**關鍵氣候風險因素**，並研判可能的影響

③ 針對初步評估指認之**中度風險以上提出可能的因應策略**

60

5.5 初步評估影響調適能力的氣候風險因素(2/4)

指認氣候風險因素 (氣候衝擊鏈)



61

5.5 初步評估影響調適能力的氣候風險因素(3/4)

預期成果 **曾文溪橋路廊潛在氣候變遷風險說明表(可行性研究階段執行)**

分析尺度：路網及路廊尺度

基本要求：

- 初步評估主要的氣候風險因素：危害因素(HX)、暴露因素(EX)、脆弱因素(VX)
- 採系統性方式描述說明(影響區位、衝擊內容、可能性、嚴重性、風險評級、因應策略)，並彙整成表

透過專家工作坊評級

區位	危害因素	暴露因素	脆弱因素	潛在衝擊說明	可能性(L ,5級)	嚴重性(C,5級)	風險評級	因應策略
計畫起點至海埔堤防	1.強降雨 2.暴潮 3.海平面上升	1.跨道路系統交接處 2.城際運輸重要聯外道路 3.地方重要聯外道路	1.淹水潛勢區 2.暴潮溢淹潛勢區	強降雨、暴潮、海平面上升造成平面道路淹水	2.25	2.5	5.625 (中)	1.災時避免通行 2.規劃替代道路
海埔堤防至青草崙堤防		城際運輸重要聯外道路		強降雨造成河川達到洪峰，洪水溢淹橋面淘刷橋基河床、挾帶砂石撞擊橋墩	2.75	3	8.25 (中)	1.搭設便橋 2.災時避免通行 3.規劃替代道路 4.減少落墩 5.調整橋梁淨高 6.加強橋基保護工 7.加長橋梁深基礎
青草崙堤防至計畫終點	1.強降雨 2.暴潮	1.跨道路系統交接處 2.城際運輸重要聯外道路 3.地方重要聯外道路		強降雨、暴潮造成平面道路淹水	2	2.5	5 (中)	1.災時避免通行 2.規劃替代道路

5.5 初步評估影響調適能力的氣候風險因素(4/4)

風險評級參考標準

- 「可能性」隱含**氣候事件**發生之可能性與**氣候衝擊建設**之可能性
- 「嚴重性」隱含**氣候衝擊建設程度大小**與**對社會經濟造成後果大小**
- 各專案團隊可依照專案需求，決定指標、分級閾值及權重計算方式等

半定量分級	可能性描述	參考基準
		危害度等級
1	幾乎不可能	1
2	不太可能	2
3	可能	3
4	極有可能	4
5	幾可確定	5

半定量分級	嚴重性描述	參考基準	
		淹水水深(m)	交通量(PCU/時)
1	可忽略的	0.3-0.5	200以下
2	較低	0.5-1.0	200-800
3	中等	1.0-2.0	800-1,500
4	重大	2.0-3.0	1,500-3,000
5	災難性的	>3.0	3,000以上

風險等級		可能性分級				
		1	2	3	4	5
嚴重性分級	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	8	10
	3	3	6	9	12	15
	4	4	8	12	16	20
	5	5	10	15	20	25

註1：極低風險(1-2)、低風險(3-4)、中風險(5-9)、高風險(10-16)、極高風險(20-25)

註2：可能性及嚴重性描述參考澳洲昆士蘭州運輸公路部《氣候變遷風險與調適評估框架》；風險矩陣參考職安署《營造工程風險評估技術指引》

註3：交通量分級基準參考交通部運研所鐵公路風險地圖訂定

註4：根據本研究示範計畫綜規報告書交通量預測，該計畫道路雙向各車種合計之平日、假日尖峰小時交通量分別為**1473、992PCU/時**

5.6 氣候變遷風險評估(1/4)

執行
氣候變遷風險評估

步驟如下:

① 確立目標
② 選擇氣候變遷風險分析方法
③ 選擇公路基礎設施組件
④ 選擇及確定特定氣候參數
⑤ 指認並描述公路基礎設施與氣候參數間的相互影響
⑥ 確立氣候風險

回報
評估結果

步驟如下:

① 氣候變遷評估書面報告
② 溝通氣候變遷風險評估結果
③ 回報評估結果做為公路系統規劃之基礎
④ 依據評估結果視需要研擬調適選項(策略或措施)

64

5.6 氣候變遷風險評估(2/4)

預期成果

曾文溪橋路段氣候變遷風險評估表 (綜合規劃階段執行)

分析尺度: 路段尺度

基本要求:

- 重新檢討可行性研究階段所提出的「潛在氣候變遷風險說明表」，針對「中度風險」以上區位賡續進行風險評估作業
- 確認面臨氣候風險區段的關鍵組件(Kx)(橋梁、隧道、排水、路面...)
- 進行關鍵組件的風險評估(考量發生機率及後果嚴重性)
- 針對「中度風險」以上的組件提出調適策略或措施



65

5.6 氣候變遷風險評估(3/4)

預期成果 曾文溪橋路段氣候變遷風險評估表(綜合規劃階段執行)

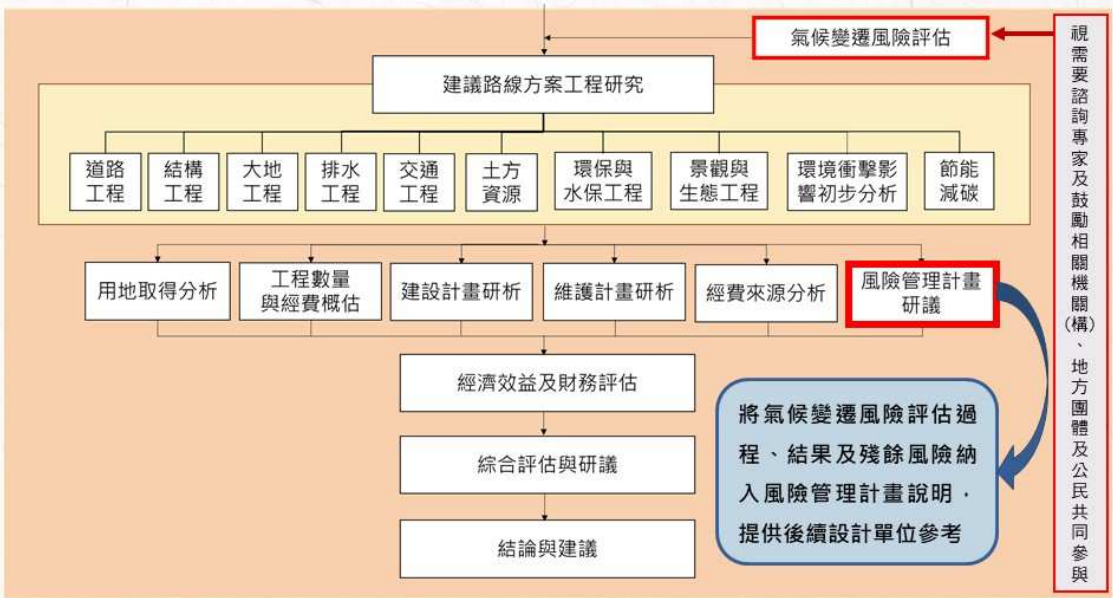
透過專家工作坊評級

區位		危害因素	暴露因素	脆弱因素	潛在衝擊說明	可能性(L ,5級)	嚴重性(C,5級)	風險評級	調適策略/措施
計畫起點至海埔堤防	既有高架路段	1.強降雨 2.暴潮 3.海平面上升	-	1.淹水潛勢區 2.暴區潮溢淹潛勢	-	-	-	-	-
	既有平面連絡道		1.跨道路系統交接處 2.城際運輸重要聯外道路 3.地方重要聯外道路		強降雨、暴潮、海平面上升造成平面道路淹水	2.25	2.5	5.625 (中)	1.災時避免通行 2.規劃替代道路
	高架引橋段(橋台)		-		-	-	-	-	-
海埔堤防至青草崙堤防	橋面		城際運輸重要聯外道路		強降雨造成河川暴漲，淹沒橋面	1.75	3	5.25 (中)	1.災時避免通行 2.調整橋梁淨高
	排水				強降雨造成橋面排水不及產生積水	1.75	3	5.25 (中)	加強橋面排水
	基礎、橋墩				強降雨增加河川流速，淘刷橋基河床挾帶砂石撞擊橋墩	3	2.75	8.25 (中)	1.搭設便橋 2.災時避免通行 3.規劃替代道路 4.減少落墩 5.加強橋基保護工 6.加長橋梁深基礎
青草崙堤防至計畫終點	高架引橋段(橋台)	1.強降雨 2.暴潮	-		-	-	-	-	-
	既有平面連絡道		1.跨道路系統交接處 2.城際運輸重要聯外道路 3.地方重要聯外道路		強降雨、暴潮造成平面道路淹水	2	2.5	5 (中)	1.災時避免通行 2.規劃替代道路

66

5.6 氣候變遷風險評估(4/4)

回報評估結果

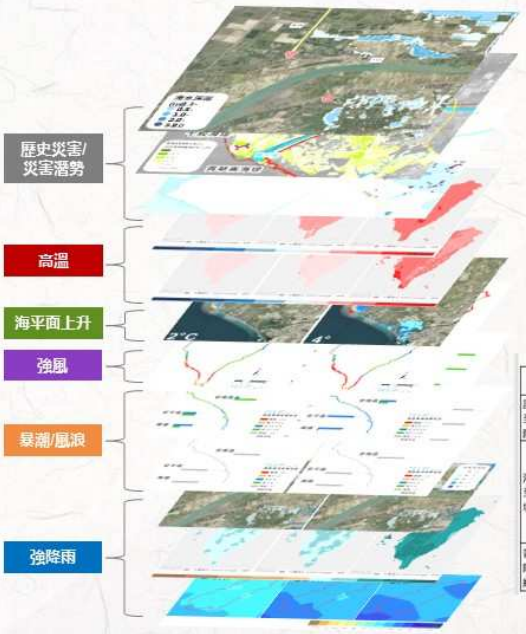


67

5.7 示範案例演示成果(1/2)

蒐集與分析氣候變遷相關資料

根據影響公路系統最大的五大氣候壓力因素以及公路所在環境區位條件，蒐集與分析相關資料



繪製氣候衝擊鏈

辨識氣候風險因素，並掌握各因素間之影響關係，繪製成氣候衝擊鏈



產出氣候變遷風險評估表

透過專家工作坊針對各公路組件進行風險評估，並針對中度風險以上組件研擬調適策略/措施

透過專家工作坊評級

區位	危害因素	暴露因素	脆弱因素	潛在衝擊說明	可能性 (L ,5級)	嚴重性 (C,5級)	風險評級	因應策略
計畫起點至海埔堤防	1.強降雨 2.暴潮 3.海平面上升	1.淹水潛勢區 2.暴潮溢淹潛勢區	1.跨道路系統交接處 2.城際運輸重要聯外道路 3.地方重要聯外道路	強降雨、暴潮、海平面上升造成平面道路淹水	2.25	2.5	5.625 (中)	1.災時避免通行 2.規劃替代道路
海埔堤防至青草崙堤防		雲文溪河川區域		強降雨造成河川遠到洪峰，洪水溢淹橋面、淘刷橋基河床、挾帶砂石撞擊橋墩	2.75	3	8.25 (中)	1.搭設便橋 2.災時避免通行 3.規劃替代道路 4.減少落墩 5.調整橋梁淨高 6.加強橋基保護工 7.加長橋梁深基礎
青草崙堤防至計畫經點	1.強降雨 2.暴潮	1.淹水潛勢區 2.暴潮溢淹潛勢區		強降雨、暴潮造成平面道路淹水	2	2.5	5 (中)	1.災時避免通行 2.規劃替代道路

5.7 示範案例演示成果(2/2)

示範案例執行成果與經驗

- **專案初期即應建立氣候變遷調適工作小組**，以利小組成員充分瞭解專案背景，進行知識交流
- 調適工作小組成員應包含**氣候變遷專家**及**所涉環境區位之主管機關**
- 透過公路專案組成「氣候變遷調適工作小組」討論，**可有效應對調適過程之資源不足與決策不確定性因素**，完成氣候變遷風險評估

示範案例成果應用

1. 成果回饋檢討公路調適指引，增納風險評估前置作業準備工作
2. 案例編入公路調適指引附錄，增進使用者對指引操作流程的理解
3. 示範案例操作經驗可提供後續持續推動國內實務案例之參考借鏡



6.1 結論

重要研究成果

- 完成公路系統強化調適能力案例蒐集與研析
- 完成與公路設施管理機關訪談或溝通交流，討論強化指引應用
- 完成公路系統規劃階段調適指引滾動檢討
- 召開專家工作坊，完成公路系統規劃階段調適示範案例演示
- 辦理公路系統規劃階段調適指引教育訓練
- 完成氣候法相關協助工作(112-115年行動方案滾動檢討、111年調適成果彙整)
- 研究成果投稿發表

71

6.2 建議

關於強化調適指引之配套

- 定期或不定期**滾動檢討**公路系統規劃階段強化調適能力指引
- 透過公路機關進行調適案例實務操作，逐步**累積本土調適經驗與知識**，以利研擬國內公路調適之**細部工作手冊及工具開發**
- 逐步**完善調適推動機制**，以引導規劃階段融入氣候變遷調適工作

關於氣候變遷調適工作推動

- 國內部會中長期預算應編列**調適預算**
- **調適思維推動與主流化**，透過教育訓練等課程活動分享調適觀念
- 採取將調適作為「納入採購契約」或「納入部頒規範」修正，以**加速調適工作推動**
- 加強推動**跨部門整合與資訊共享**

72

交通部運輸研究所
Institute of Transportation, MOTC



THANKS

簡報結束·敬請指教

鼎漢 國際工程顧問股份有限公司