

110-039-6213  
IOT-110-TCF004

# 公路系統規劃階段強化調適能力 之探討(1/2)



交通部運輸研究所

中華民國 111 年 3 月



110-039-6213  
IOT-110-TCF004

# 公路系統規劃階段強化調適能力 之探討(1/2)

著者：吳清如、吳柏萱、任雅婷、韋懿軒、鍾文祥、楊斯堯  
曾佩如、朱珮芸、徐偉誌、蕭為元

交通部運輸研究所

中華民國 111 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

公路系統規劃階段強化調適能力之探討. (1/2)/吳清如, 吳柏萱, 任雅婷, 韋懿軒, 鍾文祥, 楊斯堯, 曾佩如, 朱珮芸, 徐偉誌, 蕭為元著. - 初版. -  
- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 111.03  
面 ; 公分

ISBN 978-986-531-394-4(平裝)

1. CST: 公路管理 2. CST: 運輸系統

557

111003918

公路系統規劃階段強化調適能力之探討(1/2)

著者：吳清如、吳柏萱、任雅婷、韋懿軒、鍾文祥、楊斯堯  
曾佩如、朱珮芸、徐偉誌、蕭為元

出版機關：交通部運輸研究所

地址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

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

電話：(02)2349-6789

出版年月：中華民國 111 年 3 月

印刷者：全凱數位資訊有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 75 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：350 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組 • 電話：(02)2349-6789

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

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

GPN：1011100340 ISBN：978-986-531-394-4 (平裝)

著作財產權人：中華民國 (代表機關：交通部運輸研究所)

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

## 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：公路系統規劃階段強化調適能力之探討(1/2)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-531-394-4(平裝)	政府出版品統一編號 1011100340	運輸研究所出版品編號 111-039-6213	計畫編號 110-TCF004
本所主辦單位：綜合技術組 主管：曾佩如 研究人員：朱珮芸、徐偉誌、蕭為元 聯絡電話：(02)23496876 傳真號碼：(02)27120223	合作研究：鼎漢國際工程顧問股份有限公司 計畫主持人：吳清如 研究人員：吳柏萱、任雅婷、韋懿軒、鍾文祥、楊斯堯 地址：110 臺北市信義區松山路 130 號 5 樓 聯絡電話：(02)27488822		研究期間 自 110 年 2 月 至 110 年 12 月
關鍵詞：溫室氣體減量管理法、氣候變遷、調適策略、運輸系統、公路系統、韌性			
<p>摘要：</p> <p>為強化我國面對氣候變遷的調適能力，我國於 104 年 7 月公布施行《溫室氣體減量及管理法》，其中第 13 條明定中央目的事業主管機關應進行調適策略之研議，爰由本所自 107 年起研議運輸系統氣候變遷調適上位策略，並定期滾動檢討，以確保運輸系統調適策略能與時俱進。本年度檢討後的調適策略涵蓋「提升衝擊耐受度、強化預警應變力、提高系統回復力、增進決策支援力」等四大策略並提出 15 項調適措施。</p> <p>此外，運輸子系統中以公路系統與民眾之生活最為息息相關。然而，我國的公路系統規劃機制和相關規範對於氣候變遷調適考量仍有不足，若公路系統規劃階段能融入氣候變遷調適理念，將有效提升未來面臨極端事件之因應能力。欲提升公路系統於氣候變遷環境下的調適能力，需於規劃階段（含新建與改建）即需對公路設施以全生命週期探討工程之規劃與後續的養護管理。因此，本計畫參考國外公路系統氣候變遷調適手冊與指引，提出將氣候變遷的因素納入既有規劃流程的構想，供設施權責機關參考。</p> <p>同時，為深化設施管理機關人員對調適的認識，辦理調適專業知識教育訓練，以利調適相關業務推動。其他工作重點包含運輸系統因應氣候變遷調適成果彙整及檢討等。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
111 年 3 月	300	350	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: A Study of Enhancing Highway System's Adaptive Capacity in the Planning Phase (1/2)			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-531-394-4( pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011100340	IOT SERIAL NUMBER 111-039-6213	PROJECT NUMBER 110-TCF004
DIVISION: Interdisciplinary Research Division DIVISION DIRECTOR: Pei-Ju Tseng PROJECT STAFF: Pei-Yun Chu, Wei-Chih Hsu, Wei-Yuan Hsiao PHONE: 886-2-23496876 FAX: 886-2-27120223			PROJECT PERIOD FROM February 2021 TO December 2021
RESEARCH AGENCY: THI Consultants Inc. PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ching-Ru Wu PROJECT STAFF: Bo-Syuan Wu, Ya-Ting Jen, Yi-Hsuan Wei, Wen-Shiang Chung, Ssu-Yao Yang ADDRESS: 5F, No. 130, Sung-Shan Road, Taipei, Taiwan, R.O.C. PHONE: 886-2-27488822			
KEY WORDS: Greenhouse Gas Reduction and Management Act, climate change, adaptation strategy, transportation system, road system; resilience			
<p>ABSTRACT:</p> <p>To strengthen Taiwan's ability to adapt to climate change, Article 13 of "The Greenhouse Gas Reduction and Management Act" ratified in July 2015 requires the central industry competent authorities to develop climate change adaptation strategies. The Institute of Transportation (IOT) has begun research on adaptation strategies for the transportation sector since 2018 and has maintained regular reviews on the strategies to ensure they are up-to-date.</p> <p>The revised strategies in this year focus on four strategies of adaptation as follows: Enhancing transportation system's resistance to climate impact, strengthening functions of early-warning and response systems, improving the rehabilitation of transportation system, and providing essential support for decision-making. Not only that, fifteen measures are proposed to respond to climate change.</p> <p>In addition, road systems are the most closely related to people's daily lives out of all transportation systems. 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. In order to enhance the adaptation capability of roadways under climate change, it is necessary to explore the entire cycle from planning to the subsequent management of roadway facilities (including new construction and reconstruction). As a result, this project refers to multiple manuals and guidelines for climate change adaptation published by foreign authorities in charge of road infrastructure, offering some insights into the inclusion of climate change factors in the existing mechanism of road infrastructure planning, which provide a reference to the authorities in charge of road facilities.</p> <p>Besides, training sessions were held to strengthen the transportation administration's understanding of adaptation. Other major items include compiling and reviewing the results of climate change adaptation for transportation systems.</p>			
DATE OF PUBLICATION March 2022	NUMBER OF PAGES 300	PRICE 350	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 目 錄

目 錄.....	III
表目錄.....	VI
圖目錄.....	VIII
<b>第一章 緒論.....</b>	<b>1-1</b>
1.1 計畫緣起與目的.....	1-1
1.2 工作項目.....	1-3
1.2.1 全程（110—111年）工作項目.....	1-3
1.2.2 第1年期（110年）工作項目.....	1-4
1.3 研究範疇.....	1-7
1.4 計畫流程.....	1-8
1.5 報告名詞與定義.....	1-10
<b>第二章 文獻回顧.....</b>	<b>2-1</b>
2.1 氣候變遷對運輸系統之衝擊.....	2-1
2.2 前期研究成果.....	2-5
2.3 國際氣候變遷調適策略及措施發展趨勢.....	2-7
2.3.1 國際氣候變遷調適標準.....	2-7
2.3.2 先進國家調適策略及措施.....	2-12
2.4 國外公路系統規劃階段強化調適能力之作法.....	2-23
2.4.1 公路系統氣候韌性之定義.....	2-23
2.4.2 國外公路系統規劃階段的調適機制與方法.....	2-25
2.5 國內公路系統規劃階段強化調適能力之作法.....	2-41
2.6 小結.....	2-48
<b>第三章 運輸系統調適策略滾動檢討.....</b>	<b>3-1</b>
3.1 前期調適策略概述.....	3-1
3.2 調適策略滾動檢討作業流程.....	3-4
3.3 本期調適策略檢討重點.....	3-10
3.4 檢討後之調適策略與措施.....	3-16
3.4.1 策略一：提升衝擊耐受力.....	3-16

3.4.2 策略二：強化預警應變力 .....	3-30
3.4.3 策略三：提高系統回復力 .....	3-34
3.4.4 策略四：增進決策支援力 .....	3-38
3.5 運輸系統調適策略與措施綜理 .....	3-49
<b>第四章 運輸系統調適行動計畫強化方向建議.....</b>	<b>4-1</b>
4.1 我國運輸系統調適行動計畫之彙整分析 .....	4-1
4.1.1 公路系統 .....	4-1
4.1.2 鐵路系統 .....	4-4
4.1.3 空運系統 .....	4-6
4.1.4 海運系統 .....	4-7
4.1.5 綜合檢討分析 .....	4-8
4.2 運輸系統調適行動計畫之強化方向建議 .....	4-11
4.2.1 計畫研擬參考指引 .....	4-11
4.2.2 運輸系統調適行動計畫檢核表設計 .....	4-14
4.2.3 計畫研擬強化方向建議 .....	4-18
4.2.4 調適行動六大步驟 .....	4-20
<b>第五章 公路系統規劃階段強化調適能力 機制與方法探討.....</b>	<b>5-1</b>
5.1 公路系統規劃階段研析內容與作業流程 .....	5-1
5.2 公路系統規劃階段強化調適能力之機制與作業方法 .....	5-5
5.2.1 第一階段：資料蒐集 .....	5-7
5.2.2 第二階段：方案研擬與評估 .....	5-8
5.2.3 第三階段：工程研究與評估 .....	5-9
5.3 影響公路系統韌性強度之因素研析 .....	5-12
5.3.1 研析流程與方法 .....	5-12
5.3.2 公路系統概念與組成 .....	5-17
5.3.3 公路系統面臨的氣候壓力因素 .....	5-19
5.3.4 公路系統所在環境區位與氣候衝擊 .....	5-19
5.3.5 影響山區公路系統的韌性因素分析與調適方法 .....	5-29
5.3.6 影響平原公路系統的韌性因素分析與調適方法 .....	5-33
5.4 強降雨加劇對公路系統交界處之衝擊與協調機制 .....	5-38
5.4.1 公路系統交界處的高淹水風險點位分析 .....	5-38

5.4.2 公路系統交界處的淹水類型與成因 .....	5-38
5.4.3 公路系統間交界處強降雨衝擊之溝通與協調機制 .....	5-39
<b>第六章 結論與建議.....</b>	<b>6-1</b>
6.1 結論.....	6-1
6.2 建議.....	6-7
<b>參考文獻.....</b>	<b>參-1</b>
<b>附錄 1 計畫摘要</b>	
<b>附錄 2 計畫英文摘要</b>	
<b>附錄 3 審查意見辦理情形</b>	
<b>附錄 4 計畫簡報</b>	

## 表目錄

表 2.3-1	氣候變遷風險評估前置作業內容 .....	2-9
表 2.3-2	氣候變遷風險因子篩選舉例 .....	2-10
表 2.3-3	公路系統調適措施一覽表 .....	2-20
表 2.3-4	鐵路系統調適措施一覽表 .....	2-20
表 2.3-5	機場設施調適措施一覽表 .....	2-21
表 2.3-6	港埠設施調適措施一覽表 .....	2-22
表 2.4-1	氣候因子對公路系統的影響 .....	2-27
表 2.4-2	從海岸水利學相關案例分析中之經驗學習 .....	2-33
表 2.4-3	從河岸氾濫相關案例分析中之經驗學習 .....	2-34
表 2.4-4	從鋪面和土壤相關案例分析中之經驗學習 .....	2-35
表 2.4-5	從機電系統相關案例分析中之經驗學習 .....	2-35
表 2.4-6	韌性設計操作步驟與內容 .....	2-37
表 2.4-7	國外公路系統規劃階段調適機制之重點綜理表 .....	2-40
表 2.5-1	國內道路淹水成因與對策構想一覽表 .....	2-44
表 2.5-2	交通路網與排水系統整合方式與推動期程一覽表 .....	2-45
表 3.3-1	調適策略架構調整前後對照表 .....	3-12
表 3.3-2	調適措施重整前後對照表 .....	3-13
表 3.4-1	代表濃度途徑情境 .....	3-18
表 3.4-2	臺鐵截彎取直彎道地點 .....	3-21
表 3.4-3	2100 年情境下受土石流影響的暴露項目表 .....	3-40
表 3.4-4	因土石流受損的金額計算 .....	3-40
表 3.4-5	調適方案成本 .....	3-40
表 3.5-1	運輸系統氣候變遷調適策略與措施綜理表 .....	3-50
表 4.1-1	公路系統調適行動計畫 .....	4-1
表 4.1-2	鐵路系統調適行動計畫 .....	4-4
表 4.1-3	空運系統調適行動計畫 .....	4-6
表 4.1-4	海運系統調適行動計畫 .....	4-7
表 4.2-1	運輸系統調適行動計畫檢核表 .....	4-16
表 5.2-1	氣候變遷情境與氣候資料蒐集與分析項目一覽表 .....	5-8
表 5.3-1	影響公路系統氣候韌性之因素一覽表 .....	5-15

表 5.3-2	不同氣候壓力因素影響山區公路系統案例一覽表.....	5-21
表 5.3-3	山區公路系統面臨的潛在氣候衝擊綜理表.....	5-23
表 5.3-4	不同氣候壓力因素影響平原公路系統案例一覽表.....	5-26
表 5.3-5	平原公路系統面臨的潛在氣候衝擊綜理表.....	5-28
表 5.4-1	公路系統間交界處強降雨衝擊之溝通及協調機制.....	5-39

# 圖目錄

圖 1.4.1	計畫工作流程 .....	1-9
圖 2.1.1	氣候變遷對公路系統的影響 .....	2-2
圖 2.1.2	氣候變遷對鐵路系統的影響 .....	2-2
圖 2.1.3	氣候變遷對空運系統的影響 .....	2-3
圖 2.1.4	氣候變遷對海運系統的影響 .....	2-4
圖 2.2.1	本所歷年氣候變遷調適系列研究計畫 .....	2-6
圖 2.3.1	ISO 14091 架構示意圖 .....	2-8
圖 2.3.2	簡易氣候變遷衝擊鏈示意圖 .....	2-10
圖 2.3.3	氣候變遷對維生基礎設施的威脅 .....	2-15
圖 2.3.4	愛爾蘭的氣候變遷調適計畫體系示意圖 .....	2-16
圖 2.3.5	愛爾蘭運輸部門氣候變遷調適策略研擬流程 .....	2-16
圖 2.3.6	氣候風險樹狀圖 .....	2-19
圖 2.4.1	連續天氣事件對運輸系統的衝擊 .....	2-24
圖 2.4.2	調適架構 .....	2-26
圖 2.4.3	調適工程設計研擬流程 .....	2-29
圖 2.4.4	早期階段將氣候變化因素納入專案開發 .....	2-31
圖 2.4.5	調適研究之 5 個關鍵組成要素 .....	2-32
圖 2.4.6	生命海岸線調適措施示意 .....	2-33
圖 2.4.7	公路交通建設面對氣候變遷的韌性設計操作流程圖 .....	2-37
圖 2.5.1	公路設施整建策略工作流程圖 .....	2-42
圖 2.5.2	整合方案評估流程流程圖 .....	2-46
圖 3.1.1	氣候變遷下調適及災害風險管理的六大途徑 .....	3-2
圖 3.1.2	融合 IPCC 風險管理六大途徑的四大調適策略 (109 年) .....	3-2
圖 3.1.3	109 年四大策略及 15 項措施架構示意圖 (109 年) .....	3-3
圖 3.2.1	調適策略檢討作業流程 .....	3-4
圖 3.2.2	國家氣候變遷調適計畫架構 .....	3-5
圖 3.2.3	調適策略目標 .....	3-7
圖 3.3.1	運輸系統氣候變遷調適目標及四大策略 .....	3-11
圖 3.3.2	運輸系統氣候變遷調適四大策略及 15 項措施架構圖 .....	3-13
圖 3.4.1	鐵公路氣候變遷風險評估流程與方法示意圖 .....	3-17

圖 3.4.2	GIS 選址分析示意圖.....	3-18
圖 3.4.3	重複性嚴重受損設施改線案例-蘇花公路山區路段改善計畫.....	3-19
圖 3.4.4	臺鐵猴硐至雙溪改線計畫.....	3-20
圖 3.4.5	公共建設計畫辦理程序.....	3-22
圖 3.4.6	防洪設施示意圖.....	3-24
圖 3.4.7	坡面穩定工法類型.....	3-25
圖 3.4.8	地理資訊系統於設施管理之應用.....	3-25
圖 3.4.9	鐵公路數位分身示意圖.....	3-26
圖 3.4.10	希斯洛機場平面圖.....	3-28
圖 3.4.11	運輸系統介面受天氣事件衝擊示意圖.....	3-29
圖 3.4.12	台 17 線林邊嚕仔口橋路段淹水替代路線圖.....	3-29
圖 3.4.13	成田機場大廳設置鐵路、高速巴士等交通資訊之顯示器.....	3-30
圖 3.4.14	中央氣象局應用氣象 APP 預警說明圖.....	3-31
圖 3.4.15	風險監測設備與資訊示意圖.....	3-32
圖 3.4.16	臺鐵邊坡自動化落石監測告警系統說明圖.....	3-33
圖 3.4.17	台灣高鐵公司告警系統說明圖.....	3-34
圖 3.4.18	衝擊後勘查之科技示意圖.....	3-35
圖 3.4.19	阿里山公路運用無人機進行巡檢及勘災作業.....	3-36
圖 3.4.20	明霸克露橋短期架設便橋搶修.....	3-37
圖 3.4.21	鐵公路的跨運輸備援方案.....	3-37
圖 3.4.22	調適計畫成本效益評估輔助軟體示意圖.....	3-39
圖 3.4.23	公共工程全生命週期.....	3-41
圖 3.4.24	碼頭維護管理系統功能架構.....	3-42
圖 3.4.25	TCCIP 調適知識平台與調適模擬器說明圖.....	3-44
圖 3.4.26	跨部會之運作平台案例說明圖.....	3-46
圖 3.4.27	Climate-Adapt 平台首頁.....	3-46
圖 3.4.28	利害關係人溝通與氣候變遷寓教於樂.....	3-48
圖 4.2.1	ISO 14090 架構示意圖.....	4-12
圖 4.2.2	ISO 14090 原則.....	4-13
圖 4.2.3	TCCIP 調適 6 大構面.....	4-14
圖 4.2.4	調適行動六大步驟.....	4-21
圖 5.1.1	公共工程建設流程.....	5-1

圖 5.1.2	公路系統建設可行性研究階段工作項目 .....	5-2
圖 5.1.3	公路系統建設綜合規劃階段工作項目 .....	5-3
圖 5.1.4	公路系統建設規劃階段作業流程圖 .....	5-4
圖 5.2.1	公路系統規劃階段強化調適能力機制說明圖 .....	5-6
圖 5.2.2	資料蒐集階段納入氣候變遷調適考量 .....	5-7
圖 5.2.3	方案研擬與評估階段納入氣候變遷調適考量 .....	5-9
圖 5.2.4	工程研究與評估納入氣候變遷調適考量 .....	5-10
圖 5.3.1	探討公路系統韌性強度之因素研析流程 .....	5-14
圖 5.3.2	IPCC 對於氣候衝擊風險的定義 .....	5-15
圖 5.3.3	公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖示例 .....	5-16
圖 5.3.4	公路系統路段概念 .....	5-17
圖 5.3.5	公路系統路廊概念 .....	5-18
圖 5.3.6	公路系統路網概念 .....	5-18
圖 5.3.7	公路系統規劃階段氣候衝擊鏈分析圖-山區公路（強降雨） .....	5-30
圖 5.3.8	公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖-山區公路（強風） .....	5-31
圖 5.3.9	公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖-山區公路（高溫） .....	5-32
圖 5.3.10	公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖-平原公路（強降雨） .....	5-34
圖 5.3.11	公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖-平原公路（強風） .....	5-35
圖 5.3.12	公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖-平原公路（高溫） .....	5-36
圖 5.3.13	公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖-平原公路（暴潮、海平面上 升） .....	5-37
圖 5.4.1	逕流分擔與出流管制概念圖 .....	5-40
圖 5.4.2	出流管制規劃書審核階段義務人及技師辦理工作 .....	5-42
圖 5.4.3	逕流分擔實施計畫之審定公告及執行辦法流程圖 .....	5-44
圖 6.1.1	運輸系統氣候變遷調適四大策略及 15 項措施架構圖 .....	6-2

# 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》<sup>[1]</sup>（以下簡稱《溫管法》），其中第 13 條明定中央目的事業主管機關應研議調適策略，並配合每年提送調適成果。就運輸系統之氣候變遷調適工作而言，前揭事項涉及不同運輸系統設施權責機關（構），係屬部層級之施政策略方向，爰由交通部運輸研究所（以下簡稱本所）於 107 年起研議運輸系統氣候變遷調適上位策略，並逐年滾動檢討，以確保運輸系統之調適策略能與時俱進。

行政院環境保護署（以下簡稱環保署）亦依循 106 年 2 月行政院核定的《國家因應氣候變遷行動綱領》<sup>[2]</sup>（以下簡稱《氣候變遷行動綱領》）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）》<sup>[3]</sup>（以下簡稱《國家氣候變遷調適行動方案》），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。由於前述行動方案即將屆期，各運輸系統設施權責機關（構）宜及早研議下一階段調適行動計畫。

運輸子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。本所前期研究成果顯示，運輸系統氣候變遷調適行動之性質接近養生之長期調整工作，爰公路系統更需於規劃階段及早融入氣候變遷調適之理念，以有效提升面臨極端事件之因應能力。

爰本所延續前期研究成果，以本計畫探討公路系統規劃階段影響韌性強度之因素，並研提強化調適能力之機制與方法，提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；持續掌握國際最新調適趨勢，滾動檢討運輸系統調適策略之內容，以引導國內運輸系統設施權責機關（構）之調適作為能與國際接軌；彙整我國現有運輸系統調適行動計畫，研提各運輸系統設施權責機關（構）研擬新一期《國家氣候變遷調適行動方案》之強化方向建議；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。

## 2. 計畫目的

- (1) 探討公路系統規劃階段影響韌性強度之因素及強化調適能力之機制與方法，研究成果提供公路系統設施權責機關應用參考。
- (2) 研擬規劃階段之調適指引供公路系統設施權責機關參考，以利其務實檢視與調整規劃設計之相關法規或規範，進而強化公路系統之整體調適能力。
- (3) 依《溫管法》規定，研議符合國際最新趨勢，並參考國內狀況，滾動檢討我國運輸系統在氣候變遷下之調適策略，提供運輸系統設施權責機關（構）進一步研提具體調適行動計畫之方向。
- (4) 分析目前各運輸系統設施權責機關（構）提出之調適行動計畫，並提出強化方向建議。
- (5) 辦理教育訓練，提升各運輸系統設施權責機關（構）人員的氣候變遷調適專業知識。

## 1.2 工作項目

### 1.2.1 全程（110—111 年）工作項目

本計畫以 2 年的時間探討公路系統規劃階段如何強化調適能力。第 1 年主要工作在於探討公路系統於規劃階段強化調適的機制與方法，包括針對各國規劃階段考量的氣候變遷調適議題與規劃指引進行回顧與探討、探討國內現行規劃階段考量調適的方法、風險管理方法、針對強降雨對國內公路系統間交界處衝擊，提出溝通協調機制之建議；第 2 年度則依第 1 年之研究成果研提公路系統規劃階段強化調適能力指引，俾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。

本計畫全程（110—111 年）之工作項目如下：

1. 滾動檢討我國運輸系統調適策略。
2. 盤點我國現有運輸系統調適行動計畫，提出未來強化方向建議。
3. 研析公路系統規劃階段強化調適能力之機制、方法與作為
  - (1) 蒐集國內外相關文獻，研析公路系統規劃階段之調適發展方向及趨勢，提出於國內之上位應用建議。
  - (2) 探討影響韌性強度之因素，並研提強化調適能力之機制、方法與作為。
  - (3) 公路系統及公路跨其他運輸系統介面整合調適議題探討。
4. 辦理氣候變遷專業知識推廣課程規劃及教育訓練。
5. 完成 109—110 年運輸系統因應氣候變遷調適成果彙整及檢討。
6. 完成強化公路系統規劃階段調適能力指引。

## 1.2.2 第 1 年期（110 年）工作項目

### 1. 滾動檢討我國運輸系統調適策略

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

### 2. 盤點我國現有運輸系統調適行動計畫，提出運輸系統調適行動計畫之強化方向建議。

### 3. 探討公路系統規劃階段影響韌性強度之因素，並研提強化調適能力之機制與方法

- (1) 蒐集國內外強化公路系統規劃階段調適能力之相關文獻，研析公路系統規劃階段之調適發展方向及趨勢。
- (2) 蒐集現行國內公路系統規劃階段調適方法。
- (3) 探討公路系統規劃階段考量風險規避、降低、承擔、移轉等影響韌性強度之因素，以及可強化調適能力之機制與方法。
- (4) 探討公路系統（國道、快速公路、省道）規劃階段因氣候變遷加劇強降雨對公路系統間交界處衝擊，提出溝通協調機制之建議。

### 4. 召開專家學者座談會

- (1) 為更完善本計畫研擬之運輸系統調適策略，於民國 110 年 8 月 31 日辦理「運輸系統調適策略」專家學者座談會 1 場次。該座談會邀請策略研擬、運輸系統、氣候變遷，以及氣候變遷與調適的專家學者交流指導，依據座談會蒐集之建議，調整運輸系統調適策略。
- (2) 於民國 110 年 10 月 8 日辦理「公路系統規劃階段強化調適能力之探討」專家學者座談會 1 場次。座談會邀請熟悉氣候變遷與調適、公路規劃與設計之專家學者、公路設施機關與跨系統交界處主管機關，共同針對公路系統調適能力的機制與方法提供精進方向與建議。

## 5. 辦理氣候變遷專業知識推廣課程規劃及教育訓練

邀集氣候變遷專家學者，對各部屬設施權責機關（構）管理人員分享氣候變遷專業知識，以及極端氣候事件對運輸系統之影響與相應之調適策略進行氣候變遷知識推廣課程規劃。分別於 110 年 6 月 3 日與 9 月 30 日辦理「氣候變遷調適專業知識」教育訓練 2 場次。第 1 場以「氣候變遷風險與調適行動計畫研擬」為主題，針對氣候變遷對臺灣造成的衝擊與新版淹水風險地圖，以及國際調適的架構與國內機關（構）研擬調適行動計畫時需具備的思考概念與原則進行講授與綜合討論；第 2 場以「運輸系統因應氣候變遷調適策略與推動建議」為主題，針對各部屬設施權責機關（構）說明氣候變遷趨勢、我國調適的推動工作及運輸系統調適策略規劃等，輔助機關（構）構思新一期《國家氣候變遷調適行動方案》，加強掌握氣候變遷調適方案的精神。

課程結束後以問卷蒐集學員對教育訓練之感想與建議，做為後續教育訓練辦理建議之基礎。

## 6. 其它工作項目

(1) 辦理與《溫管法》第 13 條及《施行細則》第 11 條等相關規定、《國家因應氣候變遷行動綱領》、《國家氣候變遷調適行動方案》等相關配合事項，完成 109 年運輸系統因應氣候變遷調適成果報告（初稿）彙整及檢討。

① 彙整 109 年交通部「能力建構成果報告（初稿）」、109 年「維生基礎設施領域行動計畫成果報告（初稿）」及成果報告簡報（初稿）。

② 出席環保署 109 年調適成果報告審查討論會議。

(2) 本計畫成果投稿於國內研討會「中華民國運輸學會 2021 年年會暨學術論文國際研討會」（民國 110 年 12 月 2~3 日），於民國 110 年 10 月 1 日經審查後收錄於研討會論文集，發表題目為：「公路系統規劃階段納入氣候變遷調適考量之初步探討」（詳附錄 3）。

(3) 針對計畫重要成果或執行過程，製作可供於相關內部會議或活動展示之海報與教材。

- (4) 本計畫透過整理文獻回顧，並參考其他相關資料，以「氣候韌性：國外公路系統強化氣候變遷調適能力作法可供臺灣借鏡」為題撰寫 1 篇報導文章題目（詳附錄 3）。
- (5) 本計畫已完成計畫摘要英文版（詳附錄 4）
- (6) 其他與本計畫有關之臨時配合事項（含前期計畫之諮詢服務等）。

## 1.3 研究範疇

本計畫第 1 年期各主要工作項目之研究範疇界定如下：

1. 有關「滾動檢討調適策略」及「盤點行動計畫」等工作項目：研究範疇延續前期調適系列研究之設定，考量設施範疇包含重大鐵公路（含國道、快速公路、省道、高速鐵路、臺鐵）、商港以及國際機場等子系統，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。
2. 有關「公路系統規劃階段強化調適能力」之主題研究項目：本項工作主要探討公路系統於規劃階段強化氣候變遷調適能力的機制與方法。進一步界定研究範疇如下：
  - (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。
  - (3) 本計畫雖以規劃階段為題，但已考慮全生命週期的概念，故研究成果適用於新建及改建計畫。

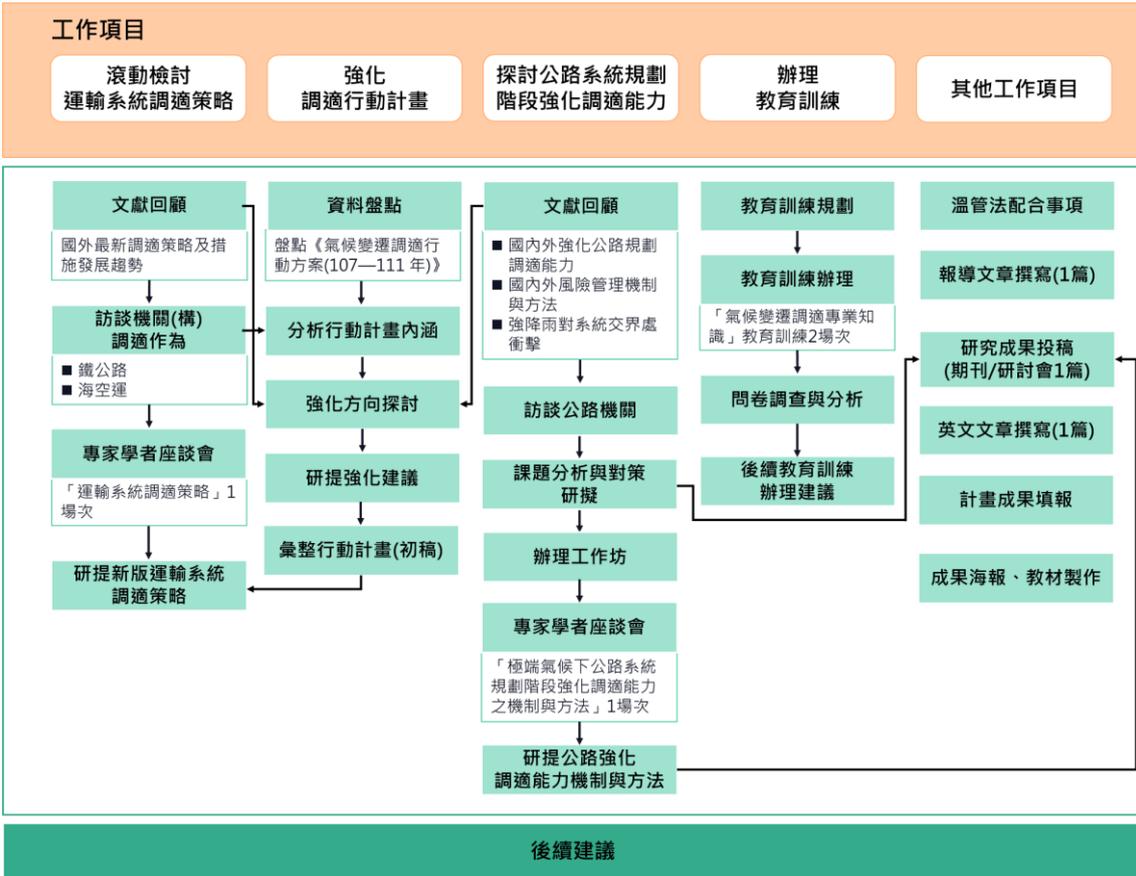
## 1.4 計畫流程

本計畫的工作項目包含：(1) 滾動檢討運輸系統調適策略、(2) 盤點與分析國內運輸系統設施權責機關（構）的《國家氣候變遷調適行動方案》並提出強化建議、(3) 探討公路系統於規劃階段提升調適能力的機制與方法、(4) 辦理調適專業知識教育訓練、(5) 其他工作項目，包含成果發表、報導文章撰寫與其他配合事項等。

本計畫期中階段先透過國外調適發展趨勢回顧與部分運輸系統設施權責機關（構）訪談，據此滾動檢討運輸系統調適策略，以強化運輸系統調適策略內容；此外，完成公路規劃階段調適能力強化機制與方法初步課題與對策分析，並以分析內容撰寫報導文章 1 篇（詳附錄 3）；另外，盤點國內既有氣候變遷調適行動計畫，透過國外文獻回顧及綜合檢討分析提出運輸系統調適計畫強化方向建議。

期末階段完成運輸系統設施權責機關（構）訪談，並辦理 1 場調適策略專家學者座談會，做為滾動檢討運輸系統調適策略之參據；此外，研提公路規劃階段調適能力強化機制與方法，並辦理專家學者座談會及工作坊蒐集與溝通各單位對公路於規劃階段提升調適能力機制與方法之建議；同時，彙整計畫成果撰寫英文文章 1 篇，並將研究成果投稿於國內期刊發表，並完成辦理氣候變遷調適專業知識教育訓練 2 場次。

計畫期間將配合辦理《溫管法》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 報告名詞與定義

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

### 1. 氣候（Climate）

平均天氣狀態，或在更嚴格意義上，則被定義為對某個時期（從幾個月到幾千年乃至幾百萬年不等）相關變數的均值和變率進行統計描述。根據世界氣象組織的規定，求出這些變數均值的時間長度一般為 30 年。相關變數通常指地表變數，如溫度、降雨和風。廣義上的氣候是指氣候系統的狀態，包括其統計學意義上的描述（AR5 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 第 120 頁）。

### 3. 極端天氣事件（Extreme weather events）

在特定地區和年度內某個時間發生的罕見事件。罕見的定義有多種，但極端天氣事件的罕見程度一般相當於觀測資料估計的概率密度函數的第 10 或第 90 個百分位數。極端天氣特徵會因地區不同而異。當某種類型的極端天氣持續一定的時間，如一個季節，它可被歸類為一個極端天氣事件，尤其是如果該事件產生的平均值或總量達到了極端狀態（如：持續一個季節的乾旱或強降雨）。（the IPCC's Fifth Assessment Report, AR5 第 123 頁）。

### 4. 氣候變遷調適（Climate change adaptation）

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

## 5. 危害度 (Hazard)

係指可能發生的自然或人為物理事件、趨勢或物理影響，並可造成生命損失、傷害或其它健康影響以及可能造成財產、基礎設施、生計、服務提供、生態系統以及環境資源的損害和損失 (AR5 第 124 頁)。

## 6. 暴露度 (Exposure)

人員、生計、物種或生態系統、環境功能、服務，資源、基礎設施或經濟、社會或文化資產處在有可能受到不利影響的區域之程度 (AR5 第 123 頁)。

## 7. 脆弱度 (Vulnerability)

易受負面影響的傾向或習性。脆弱度包括各類概念和因素，如對傷害敏感或易受傷害、缺乏應對和適應的能力 (AR5 第 128 頁)。

## 8. 調適能力 (Adaptive capacity)

指某個系統、組織、人類及其他生物針對潛在的損害、機會或後果進行調整、利用和應對的能力 (AR5 第 118 頁)。

## 9. 風險 (Risk)

風險通常用於指那些對生命、生活、健康、生態系統和物種、經濟、社會和文化資產、服務 (包括環境服務) 和基礎設施有負面後果，且結果不確定的可能性 (AR5 第 127 頁)。

## 10. 風險管理 (Risk management)

透過計畫、行動與政策降低風險的可能性與不確定性或回應後果 (AR5 第 127 頁)。

## 11. 韌性 (Resilience)

某社會、經濟和環境系統處理災害性事件、趨勢或擾動，並在回應或重組的同時保持其必要功能、定位及結構，並保持其適應、學習和改造等的的能力 (AR5 第 127 頁)。



## 第二章 文獻回顧

本章內容分為 6 節：2.1 節簡述氣候變遷對運輸系統的衝擊；2.2 節摘述前期研究成果；2.3 節回顧國際氣候變遷調適策略及措施之最新趨勢；2.4 節蒐集及分析國外公路系統於規劃階段強化調適能力之作法；2.5 節蒐集及分析我國公路系統於規劃階段強化調適能力之作法，最後於 2.6 節綜整國際氣候變遷調適標準、各國調適策略與措施及比較國內公路系統的規劃考量與國外公路調適作法的差異以及可供本計畫借鏡之重點。

### 2.1 氣候變遷對運輸系統之衝擊

極端事件往往伴隨運輸系統服務功能失靈的風險，近年來的科學研究證明，氣候變遷將致使極端事件發生的頻率增加、影響的規模擴大以及衝擊強度的增強。因此，氣候變遷對各運輸子系統帶來比過去更高、更廣泛的氣候風險。以下概述我國各運輸子系統在氣候變遷環境下面臨之氣候風險：

#### 1. 公路系統

公路系統支援重要社會經濟、維生、醫療等活動之運輸服務，隨著氣候變遷及極端事件的頻率增加，公路系統面臨的氣候風險逐漸升高。道路設計標準如係依據某一範圍的氣候狀態加以訂定，當氣候狀態超出範圍時，道路將面臨衝擊。回復道路功能所需的成本或提高道路設計標準、安全系統及改建等都是重大的支出。

依據《氣候變遷行動綱領》<sup>[4]</sup>，國內較易受氣候變遷影響之山區公路建設多沿河谷開鑿構築，在暴雨作用下，容易受到邊坡滑動崩塌的威脅；亦常因河谷沖蝕加劇而危及道路路基，中斷公路系統；若河川上游發生洪水、土石流等，則沖刷裸露基礎之橋梁；下游橋梁之橋墩、橋面也易遭洪水、土石流沖毀或掩埋；如降雨量超過排水設計，則會面臨道路淹水的問題；而高溫引發的熱空氣與高水溫除容易腐蝕橋墩，也會造成公路鋪面軟化與損壞。



坡地崩塌



路面淹水

資料來源：自由時報，<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/3328054>、蘋果即時，<https://tw.appledaily.com/life/20180704/IHPGTFIPMMWAN2GBFLMBWI6H2Q/>。

圖 2.1.1 氣候變遷對公路系統的影響

## 2. 鐵路系統

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

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

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



軌道挫屈



軌道淹水

資料來源：ETtoday 新聞雲，<https://www.ettoday.net/news/20190715/1490358.htm>、今日新聞，<https://www.nownews.com/news/2804965>。

圖 2.1.2 氣候變遷對鐵路系統的影響

### 3. 空運系統

氣候變遷對空運系統可能造成的影響包括：(1) 陸側設施及客貨運業務因淹水、強風、雨水或暴潮沖刷及沖擊而受損或無法作業、(2) 空側設施因淹水、強風、雨水、暴潮沖刷及沖擊、高溫等而受損或無法作業、(3) 航機因強降雨、跑道積淹水、強風、高溫而無法正常起降、(4) 航機因強降雨、強風而損壞、(5) 機場聯外道路因強降雨淹水或落石、坍方、(6) 臨海設施因暴潮沖刷及沖擊而受損。

根據《臺灣氣候變遷科學報告 2017》<sup>[5]</sup>及《IPCC 氣候變遷第六次評估報告 (AR6) 之科學重點摘錄與臺灣氣候變遷評析更新報告》<sup>[6]</sup>，全球暖化可能導致 21 世紀末颱風侵臺比例約增 50%，且發展為強烈颱風的機率增加，降雨強度亦呈現增加的趨勢（在最劣排放情境下，豪雨強度約增 41.3%），高溫超過 36°C 日數約增 48.1 日，上述的變化意味著空運系統將受到更強烈的衝擊。



資料來源：中時新聞網，<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20151112003143-260405?chdtv>、ETtoday 新聞雲，<https://www.ettoday.net/news/20160602/709388.htm>。

圖 2.1.3 氣候變遷對空運系統的影響

### 4. 海運系統

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

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



資料來源：中時新聞網、<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20170730001614-260417?chdtv>、蘋果即時，  
<https://tw.appledaily.com/life/20150928/UVPJJAHGDLGZONX5LCE66BQYPA/>

圖 2.1.4 氣候變遷對海運系統的影響

## 5. 小結

在氣候變遷的環境之下，極端事件發生的頻率更頻繁，事件的時間可能拉長、縮短與驟變，事件的強度也可能增加或加速，如強降雨、強風與高溫的強度增加以及海平面上升的速度加速。氣候條件的變遷導致運輸系統面臨更加複雜且嚴峻的氣候風險，是故，如何掌握氣候變遷風險，且進一步妥適調適因應氣候衝擊，已然成為當前及未來全球運輸系統規劃、設計、營運、維護以及管理的重要議題。

## 2.2 前期研究成果

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。

爰本所於 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 年辦理「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」<sup>[7]</sup>，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》<sup>[8]</sup>之相關成果，建立鐵公路建設氣候變遷脆弱度評估指標；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）」<sup>[9]</sup>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；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）」<sup>[10]</sup>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；105 年計畫「氣候變遷運輸設施風險評估暨風險資訊進階服務計畫」<sup>[11]</sup>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》發布施行，本所自 106 年起配合研議調適策略。106 年「鐵公路氣候變遷調適行動方案之研究」計畫<sup>[12]</sup>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；107 年「運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫」<sup>[13]</sup>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；108 年「運輸系統調適策略研究」<sup>[14]</sup>與 109 年「運輸系統因應氣候變遷調適之研究」<sup>[15]</sup>等計畫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。

109 年計畫「運輸系統因應氣候變遷調適之研究」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》<sup>[16]</sup>建議的調適計畫研擬程序，融合 IPCC AR5 建議的氣候變遷調適 6 大途徑<sup>[17]</sup>，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 3 大類。

本所歷年氣候變遷調適系列研究之計畫名稱如圖 2.2.1 所示。



資料來源：本計畫彙整。

圖 2.2.1 本所歷年氣候變遷調適系列研究計畫

## 2.3 國際氣候變遷調適策略及措施發展趨勢

本節回顧國際氣候變遷調適標準、蒐集先進國家整體調適方向與近期更新之運輸部門調適策略，做為滾動檢討我國運輸系統調適策略之參考。

### 2.3.1 國際氣候變遷調適標準

國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)於2019年發布《ISO 14090 氣候變遷調適—原則、規定與指導》，針對如何研擬調適策略的流程與注意重點提出指導，本系列研究已於「運輸系統因應氣候變遷調適之研究」回顧該標準重點。本年度持續追蹤與回顧於2021年發佈的《ISO 14091 氣候變遷調適—脆弱度、衝擊與風險評估指引》(Adaptation to Climate Change—Guidelines on Vulnerability, Impacts and Risk Assessment)<sup>[18]</sup>，該標準說明如何執行氣候變遷風險評估，協助組織辨識與瞭解氣候變遷的影響並支援決策，該指引文件之架構如圖2.3.1。以下依序摘述其重點：

#### 1. 氣候風險的概念

氣候變遷風險係指氣候變遷可能對社會、經濟與環境帶來的衝擊。風險評估的主要組成包含：危害度、系統對危害的暴露度與敏感度、可能的氣候變遷衝擊、無調適作為的未來風險等。氣候變遷風險評估的目的係：

- (1) 提升組織對氣候變遷後果的意識。
- (2) 辨識影響系統敏感度、暴露度與調適能力的因子並排序風險。
- (3) 辨識可執行的調適措施與須採取調適行動的時間點。
- (4) 追蹤風險的變化、監控與評估調適，掌握調適措施的成效。

氣候變遷的風險評估需應用價值判斷(value-based judgement)，因衝擊的評估經常使用不同計算單位，如節省的損害成本、生命年數等。另外，在風險臨界點的設定上如無過往的數據可參考，也需應用價值判斷。

#### 2. 氣候變遷風險評估前置作業

氣候變遷風險評估涵蓋許多工作，評估前須先進行表2.3-1之前置作業。



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

圖 2.3.1 ISO 14091 架構示意圖

表 2.3-1 氣候變遷風險評估前置作業內容

項目	內容
1. 界定前後關係	<p>組織需先進行下列工作，訂定範疇、目標與期望的產出：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 辨識面臨風險的系統，系統的敏感度、暴露度與調適能力</li> <li>■ 辨識哪種危害可能影響面臨風險的系統，挑選進一步於風險評估分析的危害，並列舉所需的資料</li> <li>■ 辨識與風險評估相關的既有或規劃的流程與活動</li> <li>■ 辨識既有的氣候變遷、脆弱度、衝擊、風險與衝擊評估資料</li> <li>■ 辨識並將利害關係人納入評估流程為重要的準備工作</li> <li>■ 盤點評估所需的資源，例如金融、人力、技術與資訊/數據等</li> <li>■ 辨識影響風險系統的外在因素，如社會經濟變化、土地使用變化、市場變化、政策與機關變化、技術發展、全球環境變化等</li> </ul>
2. 辨識目標與期望的成果	<p>組織執行風險評估的主要原因係彌補資訊的缺口：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 訂定風險評估的目標、期望的成果與可支持或輔助精進的流程</li> <li>■ 辨識風險評估應解決的資訊缺口</li> <li>■ 盤點成果可如何被應用</li> <li>■ 決定風險評估成果的呈現方式</li> <li>■ 納入專家、機關、利害關係人的參與，支持調適的決策</li> <li>■ 辨識目標群眾並知會風險評估期望的成果與應用</li> </ul>
3. 成立計畫團隊	<p>成立計畫團隊執行風險評估，並由具決策權的人員領導，以應用評估成果並導入所需資源。團隊可包含外部專家並具備下列知識：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 組織、風險系統及兩者間的關係</li> <li>■ 風險系統的狀況，例如地理位置、供應鏈、上、下游關係等</li> <li>■ 氣候變遷與產生的衝擊</li> </ul>
4. 訂定範疇與評估方法	<p>計畫團隊需考量下列因素並訂定風險評估範疇：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 資料精度</li> <li>■ 相關的族群</li> <li>■ 需納入的危害類型</li> <li>■ 評估的地點</li> <li>■ 評估的地理與時間精度</li> <li>■ 評估使用的方法，例如質化、量化或混合方法</li> <li>■ 風險評估可使用的資源，例如人力、財務等</li> </ul>
5. 設定時間範疇	<p>設定時間範疇時需考量：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 風險系統的壽年</li> <li>■ 風險系統在面臨氣候變遷上達到臨界值的時間點</li> <li>■ 啟動調適行動因應衝擊的時間點</li> </ul>
6. 蒐集相關資訊	<p>蒐集可取得的危害、敏感度、暴露度、氣候變遷衝擊、脆弱度評估、調適能力、既有風險評估與風險管理工具等</p>
7. 制定一個執行計畫	<p>完成上述 6 個步驟後，計畫團隊需研擬執行風險評估的計畫，執行計畫應包含工作項目、負責人員與期程規劃</p>
8. 透明度	<p>評估流程應透明（方法、決策流程與不確定性的處理、優勢與劣勢）</p>
9. 參與機制	<p>利害關係人的參與可有助於風險評估的完整性</p>

資料來源：the International Organization for Standardization, ISO 14091 Adaptation to Climate Change – Guidelines on Vulnerability, Impacts and Risk Assessment, 2021.

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。組織可設定多個時間範疇，例如不久的過去（過去 30 年）、現況、不久的將來（未來 30 年）與較久遠的將來等。整體來說，不久的將來比較久遠的將來適合用於研擬調適策略。風險評估的時間範疇設定建議應採取至少 30 年（世紀中）。針對海平面上升或壽年較長的設施（例如橋梁），則建議採用 100 年做為評估範疇（約世紀末）。

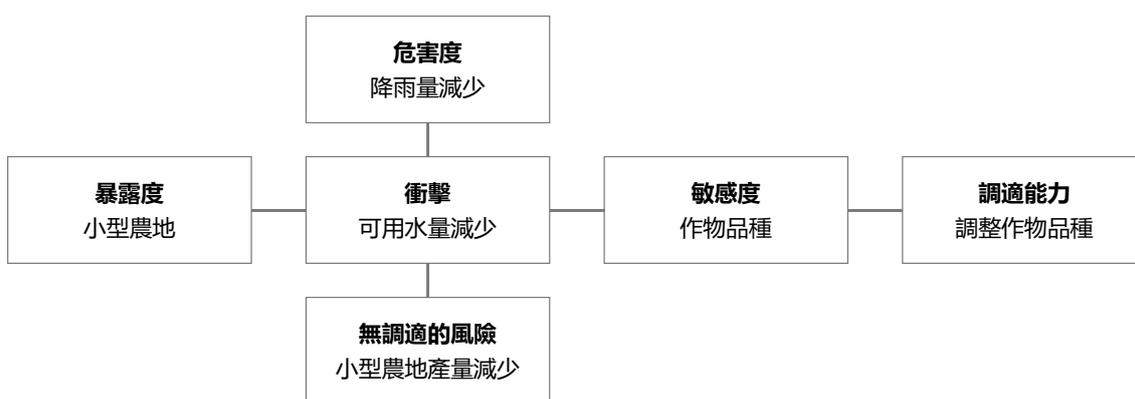
### 3. 執行氣候變遷風險評估

- (1) 篩選衝擊與建立衝擊鏈：執行風險評估需了解因果關係，計畫團隊應篩選氣候風險因子（表 2.3-2），建立衝擊鏈（圖 2.3.2）與辨識衝擊可能帶來的連續影響。

表 2.3-2 氣候變遷風險因子篩選舉例

風險組成	風險因子	指標
危害度	降雨	連續 3 個月的總降雨量
暴露度	小型農地	某區域內的小型農地數
敏感度	作物品種	種植不耐旱作物的農地比例
調適能力	轉換為韌性作物的能力	可投入種植新品種作物的收入比例

資料來源：the International Organization for Standardization, ISO 14091 Adaptation to Climate Change – Guidelines on Vulnerability, Impacts and Risk Assessment, 2021.



資料來源：the International Organization for Standardization, ISO 14091, 2021.

圖 2.3.2 簡易氣候變遷衝擊鏈示意圖

計畫團隊列出可能的氣候變遷衝擊，並考量其他地區的衝擊是否會影響風險系統（例如系統間的相依性、供應鏈等）。計畫團隊可應用矩陣表列出可能的危害，對應的敏感度、暴露度等。

建立衝擊鏈有助於理解、視覺化、系統化與優先化影響系統風險的因子，指出各項危害會造成的直接與間接衝擊。

## (2) 辨識指標

指標係做為特定狀態的資訊參數 (parameter)，如狀態無法測量，則使用替代的指標。指標應為量化、質化或半量化，以評估氣候變遷的衝擊，篩選指標時須考量：①地理範圍與精度、②時間軸、③代表性、④可複製性、⑤可行性。

## (3) 取得與管理數據

現況與未來氣候情境的取得至關重要。數據取得的方式可包含專家判斷、測量、統計、問卷與模型。取得的數據需確認品質方才應用。應用的數據應建立資料庫做系統化的管理，以掌握數據狀態與細節。

## (4) 聚合指標與風險組成

組織可選擇是否聚合指標與風險組成，此步驟非必要。

## (5) 評估調適能力

風險評估應評估調適能力，如未評估調適能力，則被歸類為氣候變遷衝擊評估。調適能力可由多個面向評估，如組織能力、技術能力、金融能力、生態能力等。

## (6) 解析與評估發現

瞭解所辨識的風險並回饋至風險評估的目標。

## (7) 分析跨部門依賴性

衝擊鏈可分析個別部門間的依賴性，獲取更完整的資料。

## (8) 報告與溝通氣候變遷風險評估結果

彙整氣候變遷衝擊評估結果並與利害關係人溝通。

# 4. 回報與溝通執行氣候變遷風險評估

## (1) 氣候變遷風險評估報告

報告應提供風險評估的目標說明、應用的方法、主要的發現、解析評估結果所需的背景知識等。

## (2) 溝通氣候變遷風險評估結果

評估結果依據溝通的族群選取適用的溝通方式。

### (3) 回報結果做為調適規劃基礎

風險評估係做為調適規劃、主流化與導入調適策略與措施的基礎。回報風險評估結果時應考量可理解性並提供建議。可理解性係指參與調適規劃的人員就算沒有參與風險評估也可瞭解風險評估的內容；建議則應包含如何縮小辨識的風險缺口，提供調適流程與規劃等。

## 2.3.2 先進國家調適策略及措施

本小節蒐集國外近期更新之運輸系統/部門的調適策略，做為滾動檢討我國運輸系統氣候變遷調適策略，及研析公路系統於規劃階段強化調適能力的機制與方法之參考。

### 1. 歐盟氣候變遷調適策略（2021 年）

歐盟執委會（European Commission, EC）於 2021 年公布新一期的氣候變遷調適策略（Forging a Climate-resilient Europe—the New EU Strategy on Adaptation to Climate Change）<sup>[19]</sup>，以「於 2050 年蛻變為具備氣候韌性的社會」為願景，針對現有調適行動提出 3 項主要的政策革新方向。

#### (1) 更智慧化的調適：加強知識基礎，以應對不確定性與潛在風險

##### ① 拓展調適知識領域

調適決策制定應基於最新科學研究、數位科技與氣候服務，以了解氣候變遷傷害與社會經濟脆弱性、社會不平等間之關係；並應建立有效和具包容性的治理機制。EC 將透過哥白尼計畫<sup>1</sup>、歐洲海洋觀測數據網絡<sup>2</sup>（European Marine Observation and Data Network）等專案，促進各成員國知識共享、縮減氣候變遷的知識缺口。

##### ② 蒐集氣候相關風險與損害數據

氣候相關風險與損害數據對提高氣候風險評估準確性至關重要，然現階段相關量化數據仍較缺乏。EC 將敦促風險數據中心訂定記錄與蒐集氣候相關風險與損害數據之準則及規範，並期望以公私協力方式蒐集和共享此類數據。

<sup>1</sup> 哥白尼計畫是歐盟的環境監測專案暨資料開放平台，透過衛星針對大氣、海洋、土地、氣候變遷、國家安全、緊急應變等面向進行實時動態監測，以大量地球觀測和地面資料為決策者提供數據。

<sup>2</sup> 歐洲海洋觀測數據網絡，成員包含來自歐洲各地約 120 個組織，透過協力進行海洋觀察，蒐集地質、海洋棲息地、人類活動等 7 大主題數據。並依國際標準處理相關數據，免費開放予使用者。

③ 強化歐洲氣候調適平台（The European Climate Adaptation Platform, Climate-ADAPT）做為權威性調適知識與數據平台之角色

Climate-ADAPT 提供彙整與分析的數據，支持歐洲氣候調適決策。EC 將進一步擴展平台功能，透過結合各部會資訊來源，強化其做為氣候影響與調適知識、數據平台之角色，並發展監測及回報機制。

(2) 更系統化的調適：支持各公私部門與治理層級間的調適政策制定

① 促進調適策略之跨域合作

EC 將與各成員國共同研擬國家調適策略指導方針，在促進區域及跨境合作時，亦確保氣候風險管理政策之連貫性。此外，訂立氣候韌性評估框架與適當指標，提升調適監測、回報與評估機制水準。

② 培養個人及地方政府尺度之氣候韌性能力

為協助調適策略由計畫階段轉變為實際行動，歐盟將試驗性成立調適政策支持機構，依據歐盟市長公約<sup>3</sup>（EU Covenant of Mayors）提供各地方政府技術支援，協助制定、實施地方層級調適策略與計畫。

③ 整合氣候韌性能力於國家財政架構

極端事件發生後之救濟與重建將大幅增加政府支出，惟現行之歐盟國家財政架構僅在有限範圍內含括氣候變遷風險。因此，EC 將致力於開發氣候相關風險對公共財政潛在影響之評估方法、氣候壓力測試工具與模型等。並與各成員國共同研議如何於國家財政架構及預算編列中，納入氣候變遷風險對國家經濟與財政影響之量化評估結果。

④ 提倡以自然為基礎的調適策略

歐盟近年大力推動「以自然為本的解決方案」（Nature-based Solutions, NBS），旨在以保護、永續管理、復育自然或改善生態系等方式，有效而彈性地因應氣候變遷、用水安全、食物安全及民眾健康等各項挑戰，以兼顧人類福祉和生物多樣性。

---

<sup>3</sup> 歐盟市長公約（EU Covenant of Mayors）是一項集結歐盟各國領先推動氣候變遷減緩與調適行動之地方政府的行動，其首長代表透過簽署公約承諾致力於實現歐盟所訂之減排、氣候韌性建構目標。

### (3) 更迅速的調適：全面加速調適行動之開展

#### ① 加速推行具體調適行動

相較於實際推行調適行動，歐盟現行措施仍以意識喚起、組織變革及政策制定為主。EC 將透過更多輔助工具的開發，例如：結合現有氣候服務資料庫的快速反應決策支援系統，協助決策者、相關從業者加速推行調適行動。

#### ② 降低建築與基礎設施面臨的氣候相關風險

基礎設施之生命週期長達數十年，惟現有的多數設施無法妥善應對不斷變化的氣候條件。為最大程度降低氣候變遷傷害風險並維持成本效益，針對基礎設施之投資應以具備氣候韌性為原則。EC 已為未來的主要基礎設施制定全面性氣候防護指南，並與各個歐盟標準化組織<sup>4</sup>合作更新基礎設施安全及性能管理標準。未來將持續更新氣候防護指南，並擴大應用於其他歐盟基金<sup>5</sup>資助之基礎設施開發計畫。

#### ③ 確立保險做為氣候風險移轉機制之核心

氣候變遷傷害已為全球政府、企業及人民資產帶來不穩定之風險，尤以經濟損失為最。EC 研議透過加強自然災害保險於各成員國的普及程度、鼓勵用戶投資調適行動之國家災害保險計畫、促進政府機關、保險業者及其他利害關係人間對話及合作、提倡氣候保險產品措施，應對與日俱增的氣候風險。

## 2. 蘇格蘭氣候變遷計畫（2019 年）

蘇格蘭於 2019 年公布新一期的氣候變遷調適計畫（Climate Ready Scotland: Second Scottish Climate Change Adaptation Programme 2019-2024）<sup>[20]</sup>，彙整各相關部門的調適計畫進行。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 2.3.3）研擬調適策略。

---

<sup>4</sup> 以歐洲標準委員會（European Committee for Standardization）、歐洲電子技術標準委員會（European Committee for Electrotechnical Standardization）、歐洲電信標準協會（European Telecommunications Standards Institute）3 大組織為主，旨在促進各成員國間標準化合作。

<sup>5</sup> 依歐盟多年期財政架構（Multiannual Financial Framework 2021-2027）所訂，包含投資歐盟旗艦計畫（InvestEU）、歐洲設施連接基金（Connecting Europe Facility）、歐洲區域發展基金（European Regional Development Fund）、凝聚基金（Cohesion Fund）、公正轉型基金（Just Transition Fund）等專案及投資基金。

### (1) 公路

公路為蘇格蘭的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，也同時藉由執行土石流研究計畫，以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。

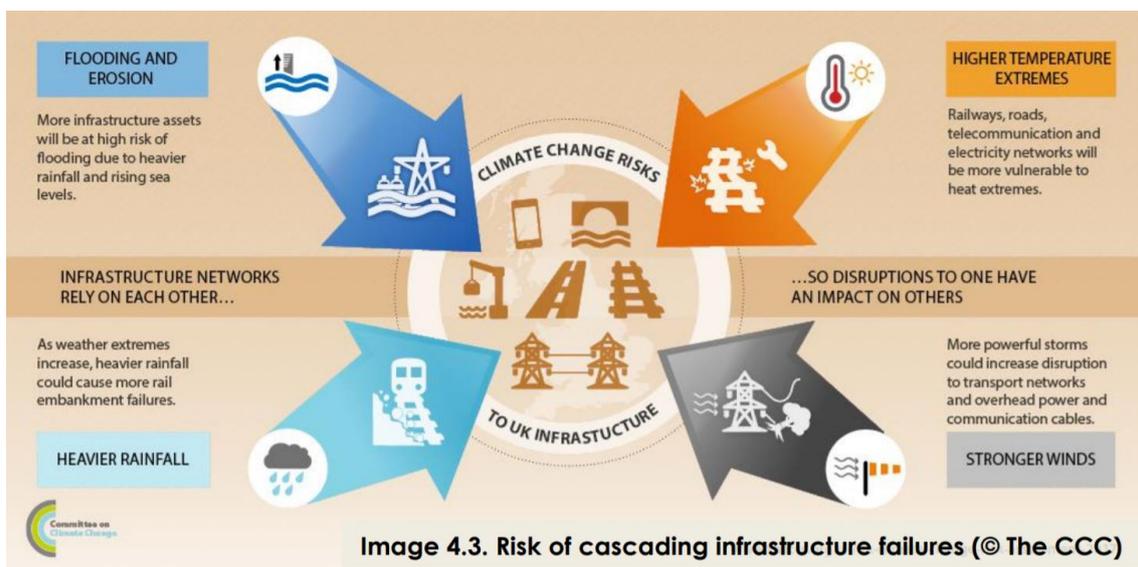
此外，持續監測與蒐集公路淹水資訊，以辨識易淹水路段與其影響，研擬工程改善方案。在橋梁沖刷上，導入管理機制，透過巡檢、監測、檢測與記錄等一系列的作為，建構風險管理與決策改善計畫的基礎。

### (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。

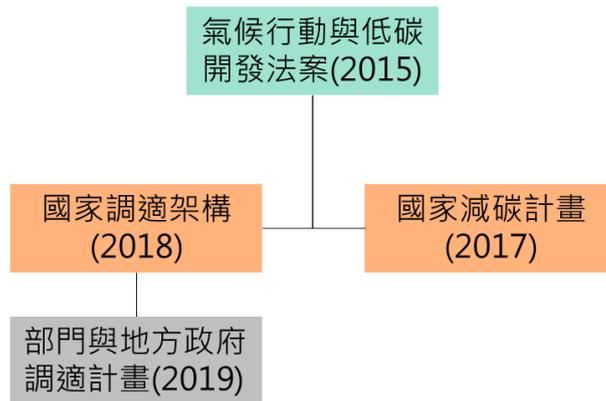


資料來源：Scottish Government, CLIMATE READY SCOTLAND: Second Scottish Climate Change Adaptation Programme 2019-2024, 2019.

圖 2.3.3 氣候變遷對維生基礎設施的威脅

### 3. 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 2.3.4 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》(Transport Climate Change Sectoral Adaptation Plan) [21]。



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

圖 2.3.4 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 2.3.5 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 2.3.5 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 3 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，策略性的調整土地使用，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，以整體性的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。

該調適行動計畫係做為愛爾蘭規劃 2050 年轉型為氣候韌性經濟的其中一環，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、部門與利害關係人合作，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。

#### 4. 日本氣候風險評估及調適指南

日本獨立行政法人國際協力機構(Japan International Cooperation Agency, JICA)是日本對外實施政府開發援助(Official Development Assistance)的主要執行機構之一，長期以來透過專案形式於財務上及技術上支持開發中國家因應氣候變遷風險。

JICA 根據聯合國政府間氣候變遷專門委員會《第五次評估報告》中之調適概念定義，於 2019 年訂定《氣候風險評估及調適指南》(Guidance on Climate Risk Assessment and Adaptation) [22]。

上述指南之內容涵蓋氣候風險概念、氣候風險評估程序、氣候變遷對各部門之影響以及調適措施建議等。以下摘述其中有關氣候風險評估程序及基礎設施調適措施建議：

##### (1) 氣候風險評估程序

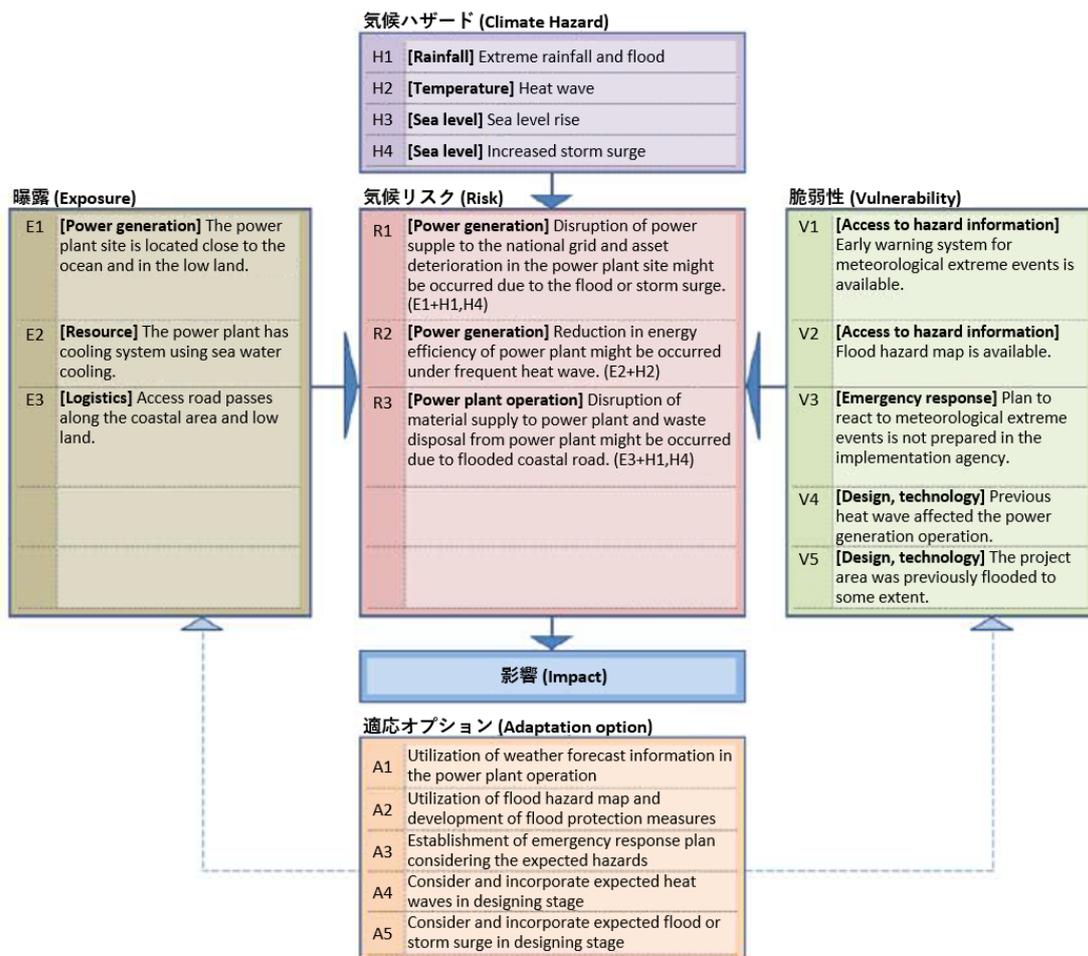
JICA 專案流程始於提案階段，由受援助的開發中國家正式邀請，開啟雙邊協商，其後依序經可行性研究、專案內容評估、調適策略規劃與設計、專案執行與管理等階段。其中，氣候風險評估應於「可行性研究」階段執行。

##### ① 氣候風險評估準備流程

- a. 釐清專案目標、投入項目、執行單位、區位、受益對象、時程等 6 大必要事項，並與地方利害關係人取得共識。
- b. 制定數據蒐集計畫，確認二手資料與實地調查應蒐集之資料。依專案區位及性質，區分與氣候風險要素相關之資料細項。
- c. 審查現行二手資料真實性、資料來源可靠程度。
- d. 進行實地調查蒐集必要資料及數據，並召開公聽會、工作坊與地方政府及居民交流，以了解基地現況及氣候風險。

② 氣候風險評估執行流程

- a. 與地方執行機關確認專案架構，諸如專案目標、投入項目、執行單位、區位、受益對象、時程等 6 大必要事項，並預先訂定氣候風險評估之時程。
- b. 運用「氣候風險矩陣」指認相關風險。
- c. 基於氣候風險矩陣指認將對專案執行造成重大衝擊的氣候風險，建立氣候風險樹狀圖（climate risk tree），如圖 2.3.6。
- d. 選取將對專案執行造成重大衝擊之氣候風險，擬訂相應的調適措施，再由效益、財務及技術可行性兩面向，分析調適措施實行之優先次序，依序補充於氣候風險樹狀圖中。
- e. 擇優先次序高之調適措施研擬細部計畫。



資料來源：Japan International Cooperation Agency, Guidance on Climate Risk Assessment and Adaptation, 2019.

圖 2.3.6 氣候風險樹狀圖

## (2) 基礎設施調適措施建議

### ① 公路

公路設施受氣候變遷影響顯著，氣溫與降雨型態轉變亦將連帶導致道路、橋梁等基礎設施建造與維護成本增加。公路系統之具體調適措施建議如表 2.3-3 所示。

表 2.3-3 公路系統調適措施一覽表

主要面向	次分類	調適措施
社會環境	基礎設施發展	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 強化現有基礎設施結構以保護相關設備</li> <li>▪ 重新設計或配置道路設施</li> <li>▪ 執行護岸工程以保護防波堤、防洪堤</li> <li>▪ 提升排水能力以應對強降雨、土壤沖蝕</li> <li>▪ 以瀝青混凝土做鋪面材料時，應考慮未來溫度的變化</li> <li>▪ 確保通往醫院、避難設施及分發醫療物資之道路暢通</li> </ul>
	公路系統設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 整體路網規劃時，納入脆弱度、氣候風險衝擊之評估</li> <li>▪ 預留足夠的道路空間做為洪水、乾旱等事件之緩衝區</li> <li>▪ 引進氣候風險預警系統、改善危害地圖</li> </ul>
自然環境	生態系維護	建置動植物環境友善設施，協助物種遷移（防護網、生態廊道等）

資料來源：Japan International Cooperation Agency, Guidance on Climate Risk Assessment and Adaptation, 2019.

### ② 鐵路

日本鐵路系統的營運，於長期受氣候條件威脅的情況下，已累積包含專案規劃、經營管理、系統技術、標準制定等領域之豐富經驗。鐵路系統之具體調適措施建議如表 2.3-4。

表 2.3-4 鐵路系統調適措施一覽表

主要面向	次分類	調適措施
社會環境	基礎設施發展	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 執行邊坡穩定工程</li> <li>▪ 重新調整鐵路及隧道路線</li> <li>▪ 建置或改善污水處理設施</li> <li>▪ 研擬地鐵出入口之防洪措施</li> <li>▪ 整修鐵路沿線鋼橋</li> <li>▪ 實行生命週期成本分析以替換脆弱度高之資產</li> </ul>

主要面向	次分類	調適措施
社會環境	鐵路系統設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 提供危害地圖予政府機關、鐵路營運商及乘客</li> <li>▪ 建置邊坡坍塌及落石監測告警系統，與列車控制系統連動</li> <li>▪ 建置地下疏散導引系統</li> <li>▪ 引進應變指南，提供列車改道或其他運行模式指引</li> <li>▪ 繪製鐵路基礎設施及軌道脆弱度地圖</li> <li>▪ 加強天氣狀況、基礎設備使用情形監測</li> <li>▪ 以地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）建置極端事件警報系統與天氣預報地圖</li> <li>▪ 與鐵路公司及營運商共同研擬極端事件應變計畫</li> </ul>

資料來源：Japan International Cooperation Agency, Guidance on Climate Risk Assessment and Adaptation, 2019.

### ③ 機場

機場設施之設計壽年可長達百年，故於基礎設施規劃階段即應確保將氣候風險納入長期評估及規劃重點。機場設施具體調適措施建議如表 2.3-5 所述。

表 2.3-5 機場設施調適措施一覽表

主要面向	次分類	調適措施
社會及自然環境	基礎設施發展	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 高風險地區之機場設施設計準則、施工計畫、緊急應變計畫等</li> <li>▪ 整建機場跑道，針對跑道長度及方向進行必要之調整</li> <li>▪ 遷移重要機場設備至高於海平面之處</li> <li>▪ 維護備用電力系統、強化配電設施</li> <li>▪ 建置滯洪池以應對極端降雨情形</li> </ul>
	營運管理計畫	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 整合潛在極端氣候事件於緊急飛行計畫中（例如：由目視飛行轉換至儀器飛行、替代航線安排等）</li> <li>▪ 制定機場緊急應變計畫及危害地圖，應包含休息、餐飲、通訊等基礎服務提供</li> <li>▪ 多樣化機場聯外大眾運輸系統</li> <li>▪ 研議機場能見度改善措施、強化班機起降系統</li> <li>▪ 依據機場跑道鋪面狀況，限制航線貨物裝載量</li> <li>▪ 檢討高風險地區之土地使用計畫</li> </ul>

資料來源：Japan International Cooperation Agency, Guidance on Climate Risk Assessment and Adaptation, 2019.

### ④ 港口

基於港口做為物流供應鏈基礎設施的角色，針對港埠設施及機能之氣候風險評估更顯重要。港埠設施具體調適措施建議如表 2.3-6。

表 2.3-6 港埠設施調適措施一覽表

主要面向	次分類	調適措施
社會環境	基礎設施發展	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 維護防波堤及繫泊設施結構及功能</li> <li>▪ 協同相關組織確保污水處理系統正常運作，並定期評估設備效率</li> <li>▪ 密切監測海域天氣狀況，並確保資訊共享</li> <li>▪ 引進揚塵控制及預防系統</li> <li>▪ 研擬道路設施防洪對策</li> <li>▪ 研議淤沙控制措施，處理航道淤積問題</li> <li>▪ 執行沿海護岸、港口疏浚工程</li> </ul>
	營運管理計畫	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 檢討及更新港口營運持續計畫（Port Business Continuity Plan, Port and Harbor BCP），納入氣候風險評估方法</li> <li>▪ 考量生命週期成本，規劃港口更新開發時程</li> <li>▪ 於港口管理機構開設氣候變遷培訓課程</li> <li>▪ 增進對氣候變遷調適相關產品及貿易供應鏈之了解</li> <li>▪ 製作危害地圖，加強地方政府及鄰近社區之應變能力</li> </ul>

資料來源：Japan International Cooperation Agency, Guidance on Climate Risk Assessment and Adaptation, 2019.

## 2.4 國外公路系統規劃階段強化調適能力之作法

針對本計畫研究主題「公路系統規劃階段強化調適能力之探討」，本節蒐集國外近期研擬或更新之公路系統規劃階段調適相關作為之政策文獻，做為未來研議國內相關作法之參考。

### 2.4.1 公路系統氣候韌性之定義

強化系統之氣候變遷調適能力意即強化系統之氣候韌性。本小節透過相關文獻初步界定公路系統氣候韌性之定義，再依據該定義進行後續文獻之蒐集回顧，以符合本計畫之研究主題所需。

#### 1. 英國運輸研究實驗室 (Transport Research Laboratory, TRL)：公路：產業提升韌性的指南 (2019 年)

英國 TRL 於 2019 年出版《公路：產業提升韌性的指南》(Roads: An Industry Guide to Enhancing Resilience)<sup>[23]</sup>，針對公路系統在持續變動的環境下如何提升韌性的作為與支援工具提出專業的建議。摘述如下：

##### (1) 韌性公路系統的概念

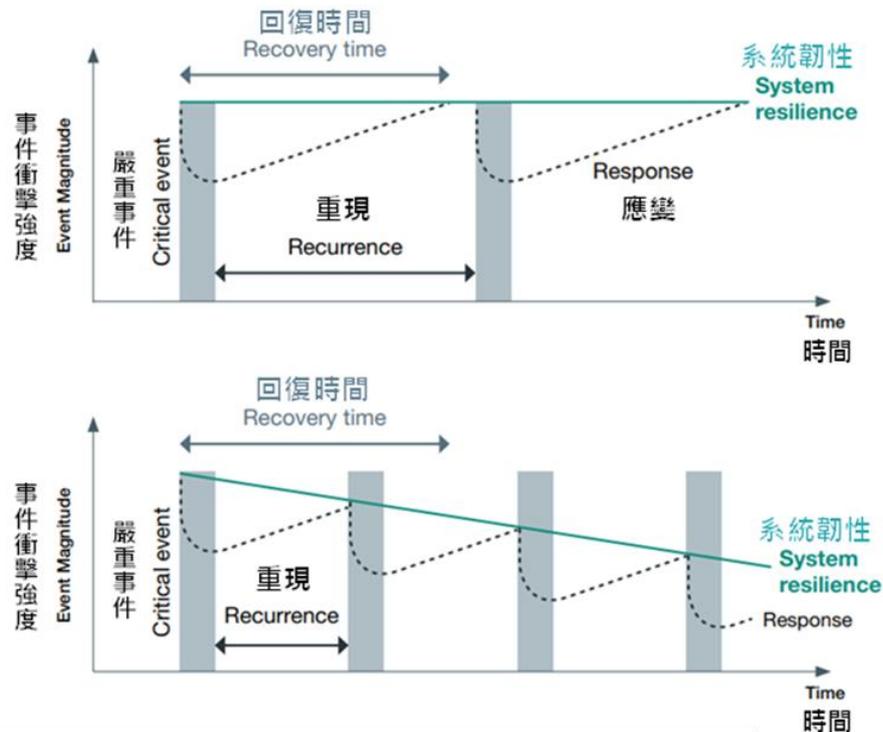
該指南將韌性定義為「可承受、因應與回復的能力」，而具韌性的運輸系統可在受衝擊時依然維持其基礎運輸能力 (essential services)。

韌性系統的組成包含以下 4 個因子：

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

在氣候變遷日漸嚴峻的狀況下，如極端事件的發生頻率增加，則系統的回復時間將受影響，導致無法維持在一個平衡的韌性點 (圖 2.4.1)。故透過另外 3 個因子 (備援力、可靠力與耐受力) 提升系統韌性至關重要。

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



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

圖 2.4.1 連續天氣事件對運輸系統的衝擊

## (2) 韌性公路系統的建立

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

另外一個提升系統韌性的作為則是將韌性的概念導入公路設施與管理。公路設施的韌性管理涉及到多種資產，如路段、鋪面、隧道、橋梁、土建、邊坡、號誌等。以管理面看則是應用價值鏈（value chain）於每一個階段（規劃、設計、建設、營運等）納入韌性的概念，此作法須與利害關係人合作，建立較全面的考量，以利韌性行動的推動執行。

至於如何於公路系統規劃階段納入韌性的概念？

由於公路規劃階段的決策通常包含建設的目標（如效益）與設計方案等。此階段的決策雖由國家政府決定，但也受地方社區與企業等的影響。如系統的韌性可在此階段即被納入考量將可達到最大的效果，例如，在建設目標與設計方案就納入韌性概念與考量。

針對所研擬之方案再進一步評估其經濟、社會與環境影響，此項評估作業由設施權責機關與相關機關依標準化之評估準則共同執行。評估的項目可包含新建、更新系統的韌性與該方案對其他既有或社區韌性的影響。

## 2. 美國運輸研究學會 (Transportation Research Board, TRB)：將韌性納入運輸規劃 (2020 年)

為協助各州政府在氣候變遷的威脅下將韌性納入長期運輸規劃，TRB 於 2020 年發布《將韌性納入運輸規劃》(Incorporating Resilience into Transportation Planning)<sup>[24]</sup>做為各州政府調整規劃流程的參考依據。該研究透過利害關係人訪談與文獻回顧彙整的資訊發展一套邏輯模式，結合既有資訊，可辨識運輸系統的耐受力 (robustness)、謀略力 (resourcefulness)、回復力 (rapidity) 與備援力 (redundancy)。

TRB 認為具韌性與不具韌性的運輸系統的主要差異為，不具韌性的運輸系統專注於達成與維持營運，而具韌性的運輸系統則需在平常與面臨事件衝擊時皆可持續營運。為達到持續營運的目標，需辨識運輸系統的關鍵因子並提供各項資產面對極端天氣事件時可持續營運與積極應變的能力。規劃者需針對規劃地區最易受到衝擊的危害改善運輸系統的氣候韌性。

### 2.4.2 國外公路系統規劃階段的調適機制與方法

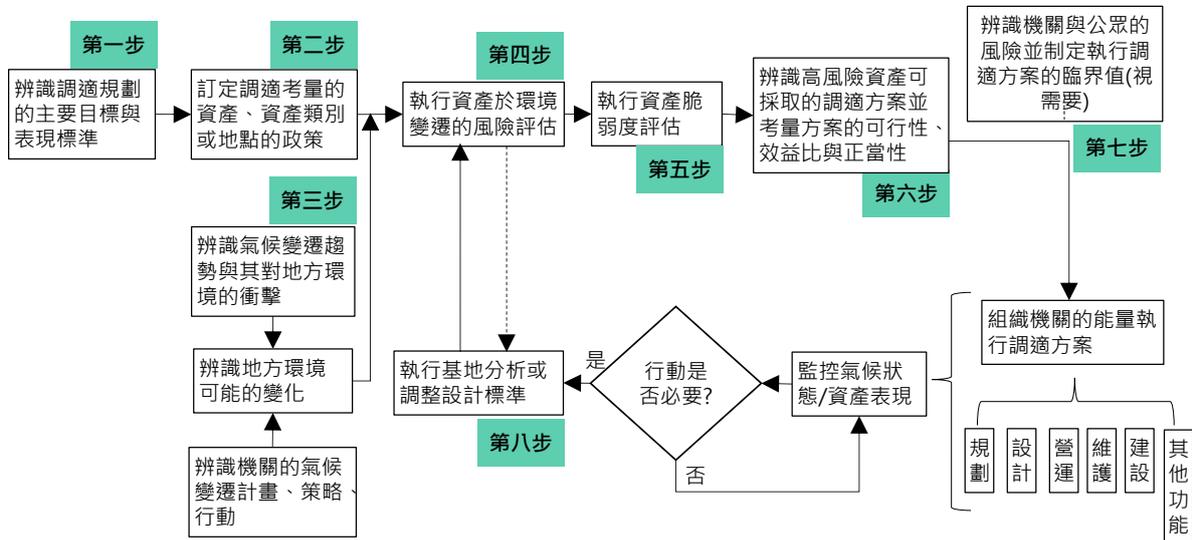
本小節蒐集國外在公路規劃階段如何將氣候變遷衝擊與韌性納入的手冊與指引，做為探討公路系統於規劃階段調適機制與方法之基礎。以下分別針對較早發展調適概念的美國、歐洲與加拿大等國家的公路系統氣候變遷調適規劃手冊進行回顧。說明如下：

#### 1. 美國國家協作公路研究計畫 (National Cooperative Highway Research Program, NCHRP)：氣候變遷、極端氣候與公路系統：實務手冊(2014 年)

為協助公路規劃人員了解公路系統面對氣候變遷與極端事件可能受到的衝擊，提升公路系統長期調適能力，NCHRP 於 2014 年發布《氣候變遷、極端氣候與公路系統：實務手冊》(Climate Change, Extreme Weather Events and the Highway System: A Practitioner's Guide)<sup>[25]</sup>第二版。該手冊提出調適的架構，以辨識公路系統面臨的風險與如何將調適與公路建設計畫之規劃流程結合，概述如下：

### (1) 調適架構

調適架構分為 8 個步驟，首先掌握系統與資產在氣候變遷下的狀態與受到之衝擊，做為調適方案與後續工程設計研擬的基礎。流程如圖 2.4.2。



資料來源：National Cooperative Highway Research Program, Climate Change, Extreme Weather Events, and the Highway System: Practitioner's Guide and Research Report, 2014.

圖 2.4.2 調適架構

該手冊提出進入調適工程評估的過程需先評估計畫的區位與氣候變遷對該區位環境可能產生的影響，需特別注意鄰近的敏感地區，也需要辨識計畫所有的利害關係人與既有的調適政策，以評估調適設計在執行上可能碰到的衝突與機會，並評估調適計畫需要的力度。在計畫需求上則要區分新建與改建計畫，如是新建計畫，設計上需考量設施的使用年期，如是改建計畫，則需考量既有設施的剩餘壽年，以利評估設施在使用期間可能面臨的氣候壓力。

氣候因子含平均氣候狀態（如平均溫度、降雨量）及極端事件，可影響運輸系統的設計、建造、維護與營運。該手冊預測的氣候因子包含溫升、降雨量增加、颶風強度增加、海平面上升等，對公路的影響如表 2.4-1。

表 2.4-1 氣候因子對公路系統的影響

氣候變遷	對設施的影響	對營運/維護的影響
氣溫		
極端高溫變化	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 設施提前損壞</li> <li>▪ 公路因挫屈與車轍破損</li> <li>▪ 橋梁因熱脹冷縮承受壓力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 影響建設作業</li> <li>▪ 橋梁營運效率受影響與維護成本增加</li> </ul>
降雨		
降雨量改變	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 提高坡災與土石流風險</li> <li>▪ 提高淹水風險</li> <li>▪ 土壤含水量過高影響道路、橋梁與隧道的結構強度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 因淹水、土石流等事件造成封路、延遲</li> </ul>
極端降雨增加與暴風雨變化	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 極端降雨沖刷道路，可能造成道路永久封閉</li> <li>▪ 極端降雨損壞隧道、涵洞、公路</li> <li>▪ 強風與極端降雨沖刷橋梁</li> <li>▪ 強風影響電纜、號誌等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 因淹水、土石流等事件造成封路、延遲</li> <li>▪ 工地發生侵蝕，影響建設計畫</li> <li>▪ 強風影響公路正常營運，並可能造成意外風險</li> </ul>
海平面上升		
海平面上升	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 沿海道路受侵蝕</li> <li>▪ 隧道或道路淹沒</li> <li>▪ 鹽分加速隧道提前損壞</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 海岸公路淹水與損壞</li> <li>▪ 暴潮暴露度提升</li> <li>▪ 隧道與低窪設施淹水風險增加</li> </ul>
颶風		
颶風強度增加	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 設施損壞與無法營運增加</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 淹水影響運輸系統正常營運</li> <li>▪ 颶風造成道路損壞</li> </ul>

資料來源：National Cooperative Highway Research Program, Climate Change, Extreme Weather Events, and the Highway System: Practitioner's Guide and Research Report, 2014.

## (2) 將調適程序納入公路建設計畫之規劃流程

因州府交通局每年需考量大量計畫，包含建設、維護、營運等，較難針對所有計畫進行評估，但如是因應氣候變遷所做的長期建設計畫、工程標準調整或營運作為，需較嚴謹的評估氣候壓力因素與其影響。評估的程度會因法規、可蒐集到的數據與資訊而有差異。

該手冊亦指出過往工程設計上在思考未來氣候的影響時多以歷史數據為依據或做為預測基礎，但此作法在氣候變遷環境下已不適用。在此變化下需思考工程設計如何將韌性納入考量，即進入調適工程評估的過程。調適工程評估包含 6 大步驟，適用於設施新建或改建計畫，說明如下：

### ① 回顧環境、機關特性與計畫需求

首先評估計畫的區位與氣候變遷對該區位環境可能產生的影響，需特別注意鄰近的敏感地區，如濕地、河流、湖與海等水源，容易淹水的低窪地區，與可能有崩塌風險的高邊坡。

此外，也需要辨識計畫所有的利害關係人(如聯邦政府、州政府、地方政府等)與既有的調適政策，以評估調適設計在執行上可能碰到的衝突與機會，並評估調適計畫需要的力度。

最後，需瞭解計畫需求，如為新建計畫，設計上需考量設施的使用年期，如為改善計畫，則需考量既有設施的剩餘壽命，以利完整評估設施在使用期間可能面臨的氣候壓力。

### ② 依據資產種類辨識可能受氣候影響的設計參數

辨識資產類別，如橋梁、涵洞、排水設施、邊坡、鋪面或防洪牆等，並分析可能影響的氣候壓力(分為直接與間接壓力)，以利評估可能的設施方案與參數。

### ③ 回顧過往氣候趨勢、取得或計算氣候預測

取得過往氣候趨勢，以設定計算氣候變化的基準，同時需取得或計算氣候預測資料並評估設計參數(現階段尚有難度)，如無適用之預測資料，需思考替代方案。

### ④ 辨識會受氣候變遷影響的設計組成

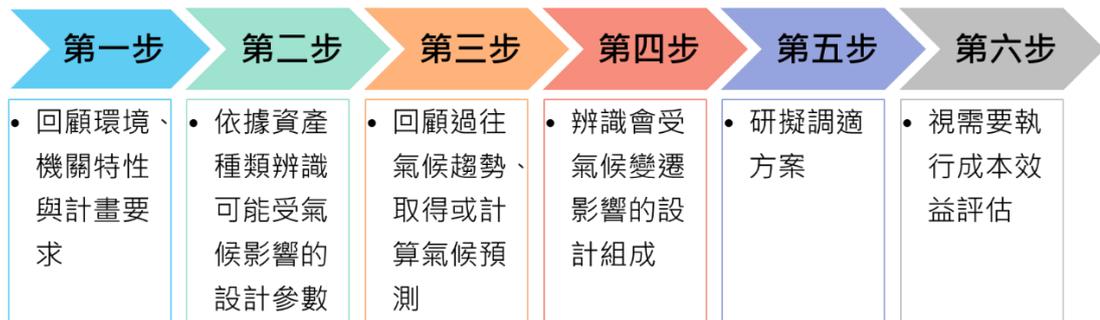
辨識設計中的脆弱度與各設計參數會產生的影響，以利後續調適方案的研擬。

### ⑤ 研擬調適方案

依據第4步驟辨識的脆弱度研擬調適方案，並評估方案內涵。

### ⑥ 視需要執行成本效益評估

以步驟3蒐集的氣候預測評估第5步驟辨識出的調適方案，建議應用成本效益評估分析各調適方案，以用於機關決策調適計畫的優先性，並考量長期的調適策略。



資料來源：National Cooperative Highway Research Program, Climate Change, Extreme Weather Events, and the Highway System: Practitioner's Guide and Research Report, 2014.

圖 2.4.3 調適工程設計研擬流程

## 2. 歐洲公路主管機關會談（Conference of European Directors of Roads：ROADAPT）：今日的道路，調適的明日指引（2015 年）

針對公路系統如何因應氣候變遷帶來的衝擊，歐洲公路主管機關會談 Conference of European Directors of Roads（CEDR）於 2015 年發布《今日的道路，調適的明日指引》（ROADAPT：Roads for Today, Adapted for Tomorrow Guidelines）<sup>[26]</sup>闡述未來氣候的不確定會如何影響公路系統以及如何將調適融入公路系統決策流程。

研究成果針對以下 5 項工作提出指引文件：

### (1) 應用現況與未來氣候資料

掌握現況與未來的氣候資料為氣候變遷調適工作的重要基礎。資料蒐集應用分為下列 4 個步驟：

- ① 步驟 1：辨識威脅與相關的氣候變數，參考的年期與時間。
- ② 步驟 2：蒐集步驟 1 相關氣候變數的現況與未來資料並確認資料的品質與可應用性。
- ③ 步驟 3：選取要使用的氣候預測或情境資料。
- ④ 步驟 4：進一步處理氣候數據資料，以利在風險評估上使用。

### (2) 快篩公路系統氣候變遷風險

透過快篩公路系統在氣候變遷下的風險可先初步篩選出較關鍵的影響，以利進入脆弱度評估與調適策略研擬程序。快篩的方法立基於應用所

有掌握到的數據、專業知識與經驗。此項工作係透過工作坊的方式辦理，每個工作坊所需時間約半日，共 3 個工作坊：

- ① 工作坊 1：辨識後果，參與者辨識公路面對氣候威脅的可能後果（如損壞、中斷等）。
- ② 工作坊 2：辨識機率、最高風險與區域，參與者辨識氣候威脅的技術資訊。
- ③ 工作坊 3：辨識調適行動方案，參與者依據工作坊 1 與 2 的討論辨識調適行動方案。針對不可承受的風險辨識調適行動方案。在研擬調適行動方案時須考量受威脅系統的壽年、養護頻率，在調適方案與養護上取得平衡。

### (3) 執行詳細脆弱度評估

應用分析工具評估公路系統在氣候變遷環境下的脆弱度，建議可採取 GIS 輔助評估與呈現脆弱度，操作步驟如下：

- ① 辨識相關的脆弱度因子。
- ② 建立 GIS 資料清單並蒐集資料，補足缺漏資料。
- ③ GIS 評估與脆弱度分數計算。

透過降低系統脆弱度的調適方案，可再反映於脆弱度地圖上。

### (4) 執行社會經濟衝擊評估

依據第 2 或第 3 項指引辨識的風險或脆弱度評估因極端事件影響公路系統正常營運時產生的社會與經濟衝擊。極端事件可能影響設施本身或整體交通狀況，皆影響營運。在社會與經濟衝擊上主要評估交通效率（efficiency）。建議可以 3 種層次評估：

- ① 路網層次：評估因路網中斷影響到的交通成本。
- ② 區域層次：評估因路網中斷以及受連帶影響的成本。
- ③ 系統層次：評估整個經濟系統因路網中斷產生的成本。

### (5) 選取調適策略

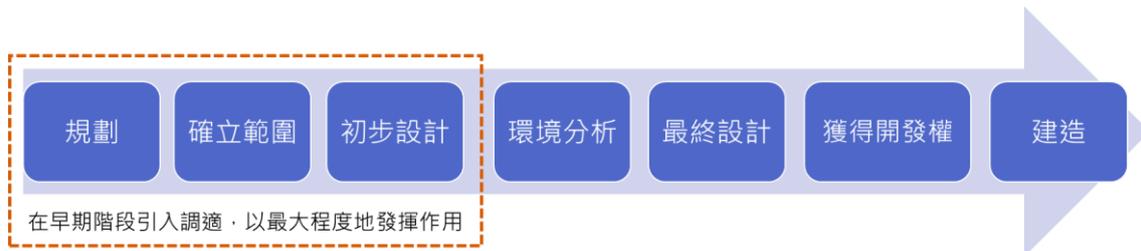
透過掌握公路系統資產現況與未來的韌性，選取適用的調適策略，調適策略可由多個調適措施所組成，並可透過措施的排序輔助選取。

### 3. 美國聯邦公路管理局（Federal Highway Administration, FHWA）－以綜合方法提升專案開發的氣候韌性（2017 年）

為協助實務人員利用氣候變遷數據評估氣候對交通運輸資產的影響並進行工程評估和設計，以指認出具潛力的調適方案。FHWA 於 2017 年出版《以綜合方法提升專案開發的氣候韌性》（Synthesis of Approaches for Addressing Resilience in Project Development）<sup>[27]</sup>。

該報告綜整 FHWA 從近期研究和旗艦計畫中吸取的經驗和創新方法，以協助美國交通運輸機構因應氣候變遷和極端事件。該報告旨在促使將因應氣候變遷需考慮之因素納入一系列運輸工程設計專案，以利實務操作人員了解管理的資產如何容易受到氣候變遷的影響，哪些調適措施將有效地提高韌性與如何實際應用選擇的措施。

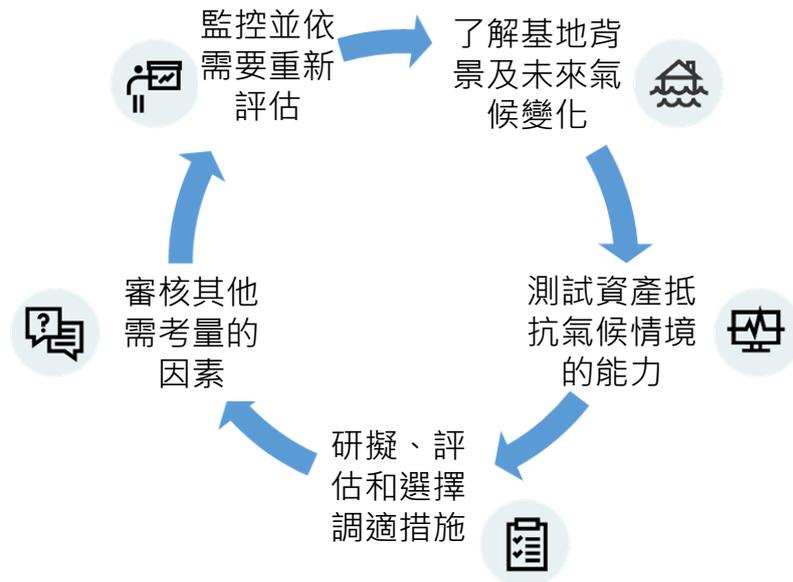
專案開發的早期階段，如規劃、界定範圍、初步設計工程，應考慮氣候變遷的影響和調適，以確保氣候韌性被整合在專案設計，如下圖所示。



資料來源：Federal Highway Administration, Synthesis of Approaches for Addressing Resilience in Project Development, 2017.

圖 2.4.4 早期階段將氣候變化因素納入專案開發

任何調適研究應包括 5 個基本要素，如圖 2.4.5。



資料來源：Federal Highway Administration, Synthesis of Approaches for Addressing Resilience in Project Development, 2017.

圖 2.4.5 調適研究之 5 個關鍵組成要素

目前有多種資源可取得氣候預測數據，同時提供操作指南說明如何選擇和解釋未來氣候情景、模型和預測。建議實務操作者可從運用 IPCC 的最近一期氣候變遷評估報告取得最新氣候情境模擬資料以及從水文預報 (DCHP) 網站下載溫度和降雨預估。

該報告描述了 4 個工程學科在氣候變遷下的氣候敏感性與可借鏡的過往分析評估與調適經驗，4 個工程學科包含：

(1) 海岸水利學 (coastal hydraulics)

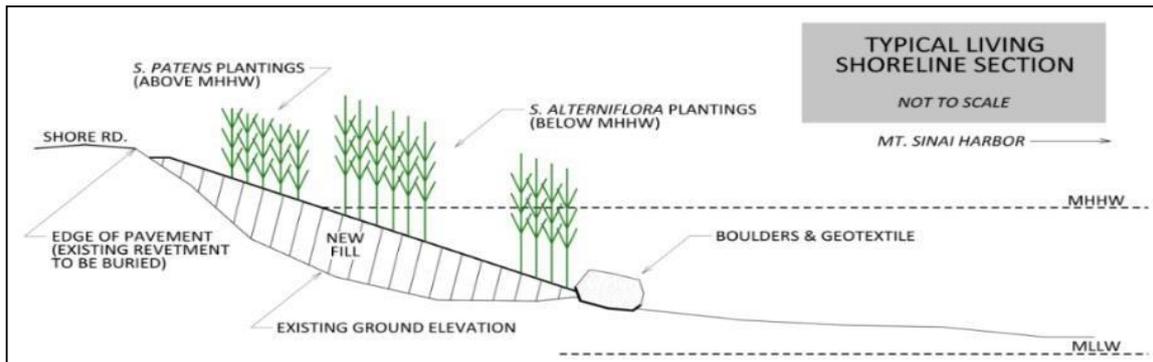
沿海地區風暴潮中的波浪會以多種方式破壞沿海道路、橋梁、鐵路以及隧道，例如：(1) 波浪襲擊損壞公路、(2) 風暴潮中的水流沖刷損壞公路和鐵路、(3) 直接侵蝕和海岸線倒退損壞公路、(4) 浪湧損壞橋面、(5) 波浪加速引起的結構破壞、(6) 隧道和道路因決堤而損壞。

在評估特定沿海資產的潛在調適方案過程中的可借鏡處如表 2.4-2。

表 2.4-2 從海岸水利學相關案例分析中之經驗學習

分類	從案例分析中之經驗學習
對基礎設施的影響	海平面上升將逐漸使沿海交通運輸更加脆弱和功能不足
	不同類型的沿海結構基本上或多或少會受到海平面上升影響
	在颶風期間，海平面上升可能已導致美國一座主要橋梁的損壞
進行脆弱性評估	Saffir-Simpson 颶風類別量表不適用於許多沿海脆弱性評估
	海平面上升對高峰風暴潮水平的影響可能是非線性的
	原有風暴潮和海浪的模型適用於大型沿海項目
	評估沿海資產需要納入所有適合的工程學科
發展調適措施	沿海氣候變遷調適措施將類似於沿海地區改善對當今極端天氣事件的抵禦能力的工程策略
	如今許多沿海氣候調適措施已證明在經濟效益上可以做為其韌性措施，而隨著海平面上升，經濟上的理由也會日漸增多
	一般對於橋梁所提出的對策及改造措施可能無效
	有生命的海岸線（living shorelines）為保護道路的合適調適措施

資料來源：Federal Highway Administration, Synthesis of Approaches for Addressing Resilience in Project Development, 2017.



資料來源：Federal Highway Administration, Synthesis of Approaches for Addressing Resilience in Project Development, 2017.

圖 2.4.6 生命海岸線調適措施示意

## (2) 河岸氾濫（riverine flooding）

河岸氾濫對道路與橋梁的威脅可能包括公路遭受洪水與決堤，河道的不穩定性，河道遷移和河床淤積等，列舉如下：(1) 碎屑堆積於車道上、(2) 因下游邊坡超越臨界點的水流條件，導致路堤受侵蝕、(3) 因雜物堵塞和增加的橫切面壓力，損壞橋軌和護牆、(4) 道堤侵蝕損壞道路鋪面、(5) 水力抬升（hydraulic uplifting）損壞道路鋪面、(6) 激烈的路堤侵蝕損壞路堤、(7) 因車輛被洪水沖走或撞上毀損的車道造成的生命損失。

在評估特定河岸氾濫的潛在調適方案的過程中的可借鏡處如表 2.4-3。

表 2.4-3 從河岸氾濫相關案例分析中之經驗學習

分類	從案例分析中之經驗學習
適當的運用降雨預測	使用歷史降雨數據集評估基礎設施時，工程師應考慮超出標準設計風暴的一系列水流事件
歷史數據在調適分析中的使用	降雨/逕流模型更適合合併未來的降雨預測，但是專家們需要更詳細的知識，以了解相應的降雨模式以及集水區流域在較長時間內對這些模式的回應
	在面積較大的流域中，高峯值暴雨流量的反饋可能非線性地隨著氣候變遷下的降雨趨勢，因高峯值流量的增加可能更多地取決於流域的特徵和對降雨動態的影響，而不是僅僅取決於降雨量的增加
發展調適方案	水力特性曲線可幫助說明資產在各種水流量情況下的現有或缺乏的氣候韌性
野火衝擊及調適能力	集水區內的野火導致暴雨流量急劇增加，並可能引發土石流
	因野火對流域損害的時間範圍很短，故降低發生極端暴雨流量的風險；因此，野火過後適合使用較低的風暴設計條件
	因野火發生的可能性相對低且擴大涵洞的成本高昂，故涵洞在因應野火上採取反應式調適在經濟效益上合理
	野火泥流流動增加暴雨流量並增加野火殘骸堵塞/河道淤積的風險，威脅河流沿岸的基礎設施

資料來源：Federal Highway Administration, Synthesis of Approaches for Addressing Resilience in Project Development, 2017.

### (3) 鋪面和土壤 (pavement and soils)

人行道系統 (人行道鋪面、基層、路基和人工土壤) 及土壤和岩石坡度易受溫度、降雨和水分變化的影響，其影響方式如下：(1) 極端溫度可能會對路面造成壓力，例如瀝青混凝土 (AC) 路面開裂、(2) 降雨量會影響土壤濕度和地下水條件，影響坡度穩定性並導致土石滑坡。

在評估道路鋪面及土壤潛在調適方案的過程中的可借鏡處如表 2.4-4。

表 2.4-4 從鋪面和土壤相關案例分析中之經驗學習

分類	從案例分析中之經驗學習
對鋪面的影響	溫度和降雨的變化可能會對鋪面性能產生廣泛影響，從而導致巨大的調適成本
	溫度和濕度的變化影響整個鋪面系統
	鋪面設計人員在評估現有鋪面系統和開發鋪面混合料設計時必須考慮氣候的不確定性
	氣候變遷將影響季節性貨車承載量政策
	儘管當前的氣候模型數據不能與當前鋪面設計和分析工具“隨插即用”，但實務人員可經常開發變通方法
對土石流和落石的影響	初步且整體評估氣候變遷對土壤穩定性的影響，不需詳細的數據
	為了確定氣候變遷是否會增加風化，實務人員必須考慮凍融循環頻率，溫度和降雨量的預測以及與上述事件相對應的時間點

資料來源：Federal Highway Administration, Synthesis of Approaches for Addressing Resilience in Project Development, 2017.

#### (4) 機電系統 (mechanical and electrical system)

機電系統有關的氣候敏感性，包括海平面上升、洪水潮和降雨增加帶來的洪水、溫度升高和強風等。

在評估機電系統有關的潛在調適方案的過程中的可借鏡處如表 2.4-5。

表 2.4-5 從機電系統相關案例分析中之經驗學習

分類	從案例分析中之經驗學習
淹水	水可以從多個路徑進入機械和電氣室
	視覺化海平面上升和風暴潮情境在竣工圖上疊圖以幫助溝通氣候威脅
溫升	可依據經驗，專業判斷與氣候情境來選擇關鍵溫度臨界值

資料來源：Federal Highway Administration, Synthesis of Approaches for Addressing Resilience in Project Development, 2017.

該報告彙編了從以上 4 個學科中汲取的大量經驗教訓。其中一些主題涉及多個學科和氣候變遷傷害，例如氣候造成的壓力來源通常具有非線性影響；氣候變遷並不一定意味著設計標準應該改變；從業人員應同時考慮極端和增量變化；重要的是考慮不同氣候壓力因素之間的相互作用；在某些情況下，調適策略將與既有實施情形非常相似；調適管理可以幫助管理不確定性並減少超出範圍的風險。儘管調適策略是針對每個工程學科的，但各工程學科的調適方案相似：

- (1) 管理和維護：維護現有設施以達成最佳性能，並透過進一步的準備來管理極端事件的因應。
- (2) 增加備援力：確保設施機關提供的運輸服務可由其他替代方案提供。
- (3) 保護：提供對抗氣候壓力的保護性物理屏障以減少或消除損害。
- (4) 調整：修改或重新設計設施，以在氣候變遷的環境中有更佳的性能。
- (5) 搬遷：將設施搬離氣候壓力來源，減少或消除暴露於氣候壓力。

以上策略中的任何一個都可包含調適設計或調適管理元素，可依據需求逐步實踐調適策略。

在選擇調適方案時，從業人員必須考慮其他因素，例如環境、經濟、社會、管理、更廣泛領域的環境和運輸系統以及機關優先事項。將這些考慮因素納入決策制定過程中，有助於對組織和社區的全面價值有更完整的理解。

一旦確定了行動方案，就應制定設施管理計畫 (facility management plan)，以確定實施調適措施的時間點並確保調適措施在氣候變遷下繼續依設計執行。有鑑於未來氣候變遷預測的不確定性，調適管理可確保項目具有韌性。分階段的調適策略應納入整體資產管理策略中。

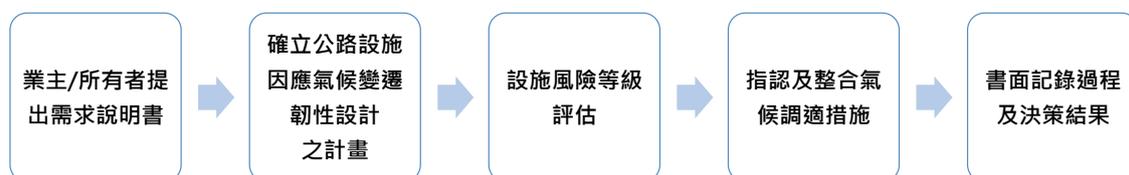
調適措施完工後，應監控設施的性能和區域氣候趨勢。由於未來土地使用變化、社會經濟變化等可能改變資產的功能用途、氣候預測數據會隨著時間的推移精進與工程的突破使新的調適措施的可行性提高或降低其他措施的成本，需滾動檢討調適措施。

#### 4. 加拿大英屬哥倫比亞省交通局 (British Columbia Ministry of Transportation and Infrastructure, BCMOTI)：公路交通建設面對氣候變遷的韌性設計－實務指引 (2020 年)

因應氣候變遷的不確定性，BCMOTI 於 2020 年提出新版《公路交通建設面對氣候變遷的韌性設計－實務指引》(Professional Practice Guidelines—Developing Climate Change-Resilient Designs for Highway Infrastructure in British Columbia) [28]，定義氣候調適措施意指可減少基礎設施的脆弱性以因應極端氣候影響的措施。透過整合氣候調適策略及措施設計和建造的基礎設施，以應對特定的氣候變遷衝擊。

氣候調適措施不僅限於增加基礎設施能力或強度，還可包括：增強營運和維護管理能力、運用不同的建築材料或方法、選擇不同的基地位置、分階段降低臨界值事件被觸發的可能性、進一步研究或更詳細的分析，或監測可增強氣候變遷韌性的項目及相關數據。

基礎設施設計階段可應用的調適措施可分為 5 大類：現狀設計、彈性設計、穩健設計、觀察法、低或無悔策略。該手冊亦指出儘管專業人員遵循了本手冊中定義的建議操作標準來執行氣候風險評估保證聲明，仍不能保證特定的設計在將來的氣候條件下不會出現問題，此為重要的借鏡觀念，亦顯示氣候變遷風險評估與調適為滾動式的工作，需持續依據可掌握的氣候條件與設施狀態調整。



資料來源：Engineers and Geoscientists British Columbia, Developing Climate Change-Resilient Designs for Highway Infrastructure in British Columbia, 2020.

圖 2.4.7 公路交通建設面對氣候變遷的韌性設計操作流程圖

主要操作流程分為 5 大步驟，如表 2.4-6 所示。

表 2.4-6 韌性設計操作步驟與內容

步驟	內容
1. 業主/所有者提出需求說明書	需求說明書應明確概述專案所需且適用的風險評估水準。由業主/所有者指認氣候風險容忍度，反映對公路基礎設施的設計、建造、營運和維護現況與對氣候預測數據的可取得性、設施服務水平以及使用壽命的認知
2. 確立公路設施因應氣候變遷韌性設計之計畫	<p>為評估氣候風險，同時整合調適策略與既有公路規劃設計，需指認專案所需環境背景資料及相關細節：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 環境區位特徵：了解氣候變遷下環境區位特徵對當前和未來的公路基礎設施的影響</li> <li>■ 列出關鍵基礎設施項目組件：可包含道路（車道數）、橋梁、排水及滯洪設施、防波堤與擋土牆等</li> <li>■ 指認與氣候無關的設計因素（drivers）：指認出與氣候無關的設計因素的目的為建立一個基本設計方案。該基本方案可做為對照組，提供評估任何潛在氣候變遷對公路壽年的影響</li> </ul>

表 2.4-6 韌性設計操作步驟與內容(續)

步驟	內容
<p>2. 確立公路設施因應氣候變遷韌性設計之計畫</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 依據各專案不同的環境區位特徵指認應納入考量的氣候參數，如降雨（強度與頻率）、溫度（最高溫、最低溫、均溫及天數）、風（平均風速、最大陣風、風向）、海平面（平均水平、漲潮、風暴潮）、流量（平均、最大和最小溪水位）</li> <li>■ 選擇團隊關鍵成員：依據專案特性，選擇具備特定專業能力與知識的成員組成專案小組</li> <li>■ 確立主要利害關係人：透過專案小組與主要利害關係人一同參與研討，指認氣候變遷帶來的潛在影響及設施因其變化而產生的後果</li> <li>■ 確認專案評估期程：公路專案有相對較長的服務年限及壽年。由於氣候變遷，許多氣候參數都呈現年均值增加或減少與出現越來越高極端值的趨勢，故選出影響公路服務年限的預估氣候數據為關鍵</li> </ul>
<p>3. 設施風險等級評估</p>	<p>風險評估的第一部分，是指認與評估與計畫範圍內直接相關的風險。為達成此目的建議透過專業認證人員（qualified professional）執行此過程，專業認證人員應具有合理的風險評估能力水準，若有需要，可進一步執行氣候變遷風險評估。主要執行步驟如下：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 確立目標與標的：風險評估標的應包含有關公路容量、安全性、可靠性、耐用性、設施壽年等設計目標以及其他影響業主對氣候風險容忍度的要素</li> <li>■ 選擇風險評估方法：評估公路基礎設施氣候風險的常用工具包含「PIEVC 工程協議- 用於氣候變遷基礎設施脆弱性評估」（2020）、FHWA 脆弱性評估評分工具（VAST）（2019）以及加拿大英屬哥倫比亞省工程師和地球科學家氣候變遷資訊網站（Engineers and Geoscientists BC 2019）。任何基礎建設的承載力或預期表現應在脆弱性評估開始時確定，如此才有機會調整高風險的基礎建設</li> <li>■ 選擇基礎設施項目組件：基礎設施項目組件可被單獨定義亦可群組，或是兩者具備。單獨列出項目組件可產出更詳細的風險評估，但需花費額外的精力和成本。因此，專業簽證工程師（Engineer of Record）應決定投入精力與適當平衡兩者</li> <li>■ 選擇和確定特定氣候參數：應由專業認證人員選擇和確認與設計有關的氣候參數及臨界值，確認所列個別氣候參數至少影響一處基礎設施項目，並紀錄確認後之特定氣候參數清單</li> <li>■ 指認並歸納基礎設施與氣候之間的相互作用：針對所列之基礎設施項目組件對應特定氣候變化參數的每種組合，應由專業認證人員和風險評估團隊指認氣候事件所導致的相互作用類型，用以預測可能造成的風險</li> <li>■ 確定氣候可能造成的風險：在基礎設施設計和氣候變化的背景下，氣候風險可做為衡量基礎設施項目組件對於氣候變遷的負面影響及其脆弱性</li> </ul>

表 2.4-6 韌性設計操作步驟與內容(續)

步驟	內容
4. 指認及整合氣候調適措施	<p>氣候調適措施意指可減少基礎設施的脆弱性以因應極端氣候影響的措施。透過整合氣候調適策略及措施設計和建造的基礎設施，以應對特定的氣候變遷衝擊。氣候調適措施不僅限於增加基礎設施能力或強度，還可包括：增強營運和維護管理能力、運用不同的建築材料或方法、選擇不同的基地位置、分階段降低臨界值事件被觸發的可能性、進一步研究或更詳細的分析，或監測可增強氣候變遷韌性的項目及相關數據。指認及整合氣候調適措施的主要執行步驟：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 行使專業判斷：工程及地球科學專業人士無法否認氣候變遷對於其專業工作的潛在影響，故須考量氣候變遷因素並納入既有工作程序，評估該資訊在其專業工作中的應用方式，並紀錄專業判斷的結果</li> <li>■ 指認氣候調適策略（或措施）選項：基礎設施設計階段可應用的調適措施可分為 5 大類：現狀設計、彈性設計、穩健設計、觀察法、低或無悔策略</li> <li>■ 有效的溝通：通常實施氣候變遷調適措施不會單由專業簽證工程師做所有決定。在專案小組討論時，應思考如何將重要且高技術性資訊有效地傳達給很少或沒有技術知識或經驗的決策者，以達成有效的溝通</li> <li>■ 完成氣候調適計畫與韌性設計方法：一旦確定調適措施後，必須向業主和其他適合的決策者提供相關訊息，包含氣候調適措施清單（對應各基礎設施可能面臨的氣候風險）、說明如何應用氣候調適措施、成本估算及討論可能影響調適措施施行之其他相關議題</li> </ul>
5. 書面記錄過程及決策結果	<p>記錄整合氣候調適策略與公路系統設計的過程與相關的重要資訊。此步驟除了滿足相關協會章程和品質管理要求外，也可協助：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 制定並執行營運和維護計畫</li> <li>■ 維護監測計畫</li> <li>■ 處理升級或翻修事宜</li> <li>■ 若因極端事件而導致損害，可執行相關調查確認責任歸屬</li> <li>■ 專業認證人員應負責監督本手冊中概述的風險評估的設計、準備和實施，並透過填寫所需的文件知會客戶。值得注意的是，儘管專業人員遵循了本手冊中定義的建議操作標準來執行氣候風險評估保證聲明，仍不能保證特定的設計在將來的氣候條件下不會出現問題</li> </ul>

資料來源：Engineers and Geoscientists British Columbia, Developing Climate Change-Resilient Designs for Highway Infrastructure in British Columbia, 2020.

## 5. 國外公路系統規劃階段調適機制之重點綜理

從以上蒐整之國外公路系統的調適規劃手冊上可發現主要的重點相似，包含需考量現況與未來的氣候資料，進行脆弱度或風險評估，藉由風險評估的結果研擬調適方案或措施，並視需要參考成本效益評估或依據公路管理機關可掌握之資源與價值判斷，選取適合導入的調適方案或措施。

此外，新建計畫需考量設施壽年，改建計畫則需考量設施剩餘壽年。強化公路系統調適能力的措施甚為多元，包括增強營運和養護能力、運用新材料或工法、改變地點、降低臨界值事件發生機率、精進監測等，國外公路系統規劃階段調適機制之重點綜理整理如下表 2.4-7：

表 2.4-7 國外公路系統規劃階段調適機制之重點綜理表

公路調適規劃手冊	調適步驟說明					
	第一步	第二步	第三步	第四步	第五步	第六步
美國國家協作公路研究計畫(NCHRP)	回顧環境、機關係與計畫要求	依據資產種類辨識可受氣候影響的設設計參數	回顧過往氣候趨勢、或取得氣候推估	辨識會受氣候變遷影響的設設計組成	研擬調適方案	視需要執行成本效益評估
歐洲公路主管機關會談(CEDR)	應用現況與未來氣候資料	快篩公路系統氣候變遷風險	執行詳細脆弱度評估	執行社會經濟衝擊評估	選取調適策略	--
美國聯邦公路管理局(FHWA)	了解基地背景及未來氣候變化	測試資產抵抗氣候境的能力	研擬、評估和選擇調適措施	審核其所需的量素	監控並依需要重新評估	--
加拿大英屬哥倫比亞省交通局(BCMOTI)	業主提出需求說明書	韌性設設計專案確立	設施風險等級評估	指認及整合氣候調適措施	書面記錄過程及決策結果	--

資料來源：本計畫彙整。

## 2.5 國內公路系統規劃階段強化調適能力之作法

本節蒐集回顧國內公路系統設施權責機關及其他相關機關有關氣候變遷調適之計畫及研究報告，藉以探討當前國內公路系統於規劃階段強化調適能力的作法，並綜理國內公路系統規劃階段之調適發展方向及趨勢。

### 1. 交通部公路總局：公路分等級開發及復建之評估及建設準則（102年）<sup>[29]</sup>

為提供相關決策參考之需要，公路總局針進行公路分等級復建、開發之評估及建設準則探討與分析，並研擬「因應氣候變遷之公路設施整建策略」，分為短期與中長期。

公路設施整建策略之工作流程如圖 2.5.1，先蒐集與彙整國內公路復建及開發等相關資料，再針對氣候變遷之發展趨勢及其對於公路設施之衝擊進行探討，進而了解氣候變遷可能誘發之傷害，據以進行整建策略之研擬流程，並初步提出整建策略之建議。

該計畫針對氣候在影響山區公路較為明顯之「邊坡滑動」、「落石」進行整建策略之整理，包括公路設施之整建工法及複合型災害之整建策略等，並回顧因應氣候變遷之現有公路規範修訂建議與實際修訂之狀況，做為強化公路系統因應氣候變遷的實務依據。

#### (1) 邊坡滑動-深層滑動、順向坡滑動

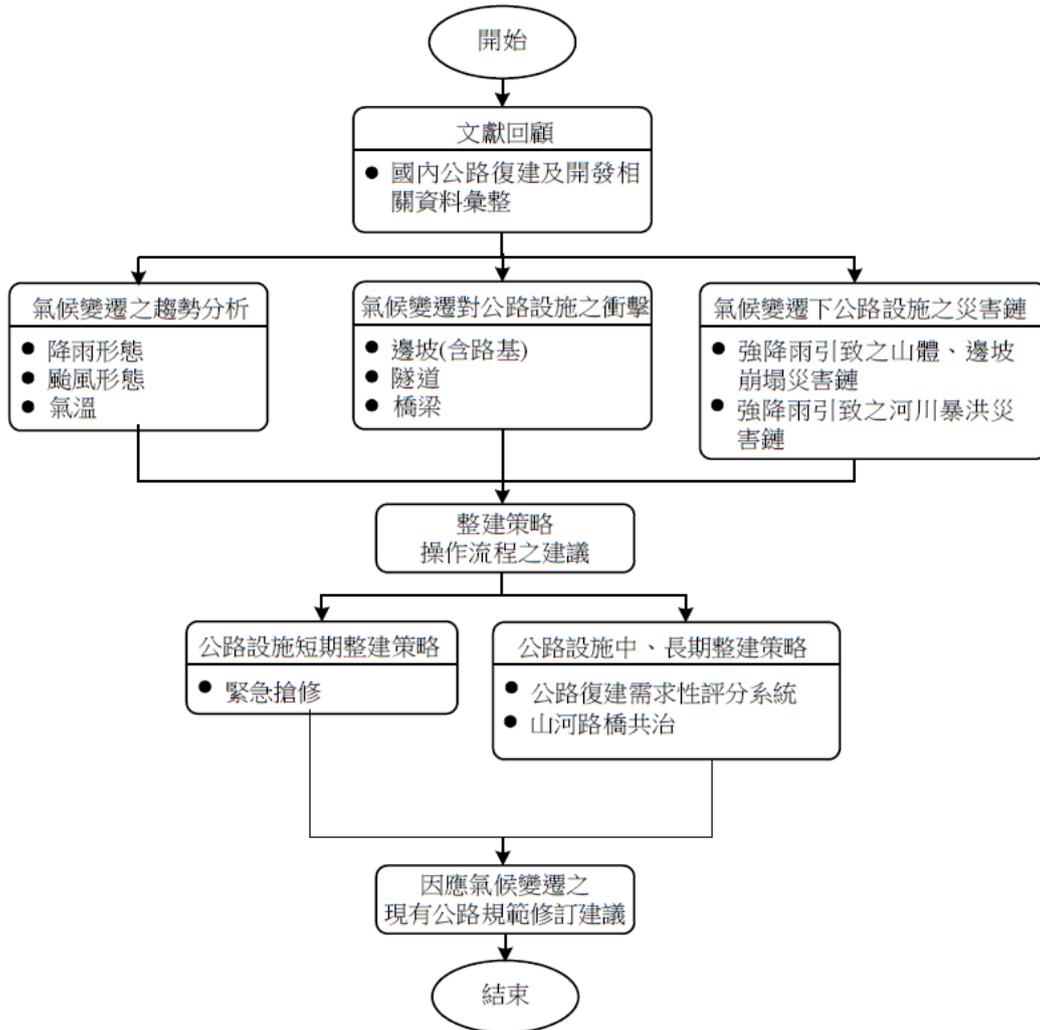
成因可能包括「坡址開挖導致邊坡不穩定」、「雨水入滲造成土壤有效應力降低」、「地形與地質（極風化之礫岩岩盤）因素」。

- ① 整建策略：邊坡穩定分析、邊坡穩定工法配合植生綠化、規劃選線時應盡量避開具深層滑動潛勢之區域。
- ② 參考採用之工法：加強地表與地下排水系統、興闢坡趾擋土排樁或擋土牆等工程，或者進行道路改線，以隧道或橋梁型式通過。

#### (2) 落石

落石傷害之發生成因包括「岩體因解壓產生節理，且多為楔形破壞而產生落石現象」、「砂頁岩互層情況下，因頁岩風化速度較快，遂造成砂岩失去支撐而墜落」、「碎岩堆積於邊坡，因雨水而崩落」。

- ① 整建策略：以立體投影法 (Structural Geology Contoured Stereo Net) 找出岩坡破壞的可能位置與滑動方向，採用主動式防護或被動式防護工法。
- ② 參考採用之工法：主動式防護工法：岩栓、鋼索固定、化學藥劑填充裂縫、危石或孤石敲除移走等；被動式防護工法：鋪設落石防護柵 (網)、興建明隧道、重新選擇路廊等。



資料來源：交通部公路總局，公路分等級開發及復建之評估及建設準則，102年。

圖 2.5.1 公路設施整建策略工作流程圖

## 2. 行政院國家科學委員會：極端氣候下臺灣橋梁防災之設計與考量（105 年）<sup>[30]</sup>

近年來臺灣受到地球暖化的影響，強降雨頻傳，也間接造成道路橋梁毀損、中斷。該計畫彙整六龜大橋、大津橋、台 21 線及北 29 線汐萬路等損壞經驗並提出橋梁設計時應遵循的準則，包括宜因應潛在衝擊型態（如極端降雨洪水、土石流、邊坡地滑）訂定適合之設計原則，使橋梁發揮預期之效益：

- (1) 蜿蜒河道會因水流大小造成不同影響程度的衝擊，進而導致河岸、堤防潰堤等情形發生，應儘量避免在此區域設橋，如需設置，建議參考美國水利工程環堰（Hydraulic Engineering Circular No. 20, HEC-20）之建議，橋址位置應選在蜿蜒半徑大於 2.5 倍河寬以上的河道。
- (2) 橋址宜避免設於惡劣地形、地質敏感地帶，以防止土石流沖積扇之產生或擴大，若無法避免時，應採用搶修容易、迅速之橋梁型式。另外，採用大跨徑設計避開邊坡崩坍範圍，必要時於橋墩設置防衝擊設施。
- (3) 為避免因橋梁設於河寬不足或河道束縮的河段時，洪流沖毀護岸，引道形成阻水，可將橋梁範圍適度延伸。
- (4) 加大橋梁跨徑，減少河中落墩數、通水面積遮斷率及河川沖刷情形。
- (5) 梁底高程應考慮水路出水高度（主要河川維持 1.5 米以上），以利漂流物通過，避免撞擊橋梁，另外，邊坡地滑路段應預留落石通過空間。
- (6) 考量河川沖刷深度的橋梁深基礎設計。
- (7) 洪流石、礫、浮木及漂流物易造成橋墩磨損，應設置防撞、保護措施。
- (8) 橋墩應儘量避免位於溪床中，若必須設置，應避免設立於溪床中央。
- (9) 橋墩方向以與洪水主流方向平行為原則，流向複雜的話，則採用圓形橋墩為原則。

## 3. 行政院國家科學委員會：複合型災害挑戰下之橋梁建設與延壽思維（106 年）<sup>[31]</sup>

在未來複合型災害發展下，橋梁建設應配合政府的調適相關策略，據以擬定能提升橋梁調適能力、降低設施面對複合型災害的脆弱度，並同時提出有效降低損害風險的建設方案。

在現階段維生基礎設施領域的行動計畫與行動方案的推動進程與執行成果的架構下，橋梁建設在「提升複合型災害耐受度」、「降低脆弱度」與「延長橋梁使用壽命」等方面的考量與研究重點如下：

- (1) 橋梁建設規劃綜合考量各領域的災害潛勢評估成果，例如淹水潛勢圖、脆弱度地圖、風險地圖、地質敏感區。
- (2) 橋梁建設方案的耐受度與脆弱度風險評估方法。
- (3) 橋梁建設因應災害風險管理的方案評選方法的建立。
- (4) 檢討修訂橋梁設計規範因應氣候變遷、極端事件、延壽的調適能力。
- (5) 健全既有橋梁脆弱度的評估方法與監測預警系統。
- (6) 既有橋梁強化氣候變遷衝擊耐受度與防護能力的工程技術。

#### 4. 經濟部水利署：因應氣候變遷防洪策略之排水系統與交通路網整合方案研究（105年）<sup>[32]</sup>

臺灣地勢山高地小，在都市高度發展下，已嚴重壓縮排洪與防洪空間，淹水成因包括道路本身設計、區域系統性維管及共通性問題（如表 2.5-1 所示），因此，確實需要參考相關經驗後，將排水系統與交通路網進行整合，思考如何在地化外，建立有利於水利防洪、交通運輸得以整合之機制。

表 2.5-1 國內道路淹水成因與對策構想一覽表

淹水成因		對策構想
道路本身設計問題	路面蒐集系統及水能力不佳	1.檢討現行排水系統蒐集能力與標準
	新闢道路截斷原有水路	2.規範或法規調整
區域系統性問題	位處局部低窪區	1.道路高程（含下水道）改善
	外水頂托排水不易	2.導入透水鋪面、雨水花園等 LID 設施 3.利用公園、匝道等公用設施滯蓄洪水 4.導入道路排水觀念與設計
維管問題	施工排水或維管不足	落實查核機制或程序
共通性問題	降雨強度過大，超出道路排水系統設計標準	1.設施標準提高之可能性 2.如區域性問題導入相關工程設施 3.導入道路排水觀念與設計 4.非工程措施

資料來源：因應氣候變遷防洪策略之排水系統與交通路網整合方案研究，經濟部水利署，105年、本計畫彙整。

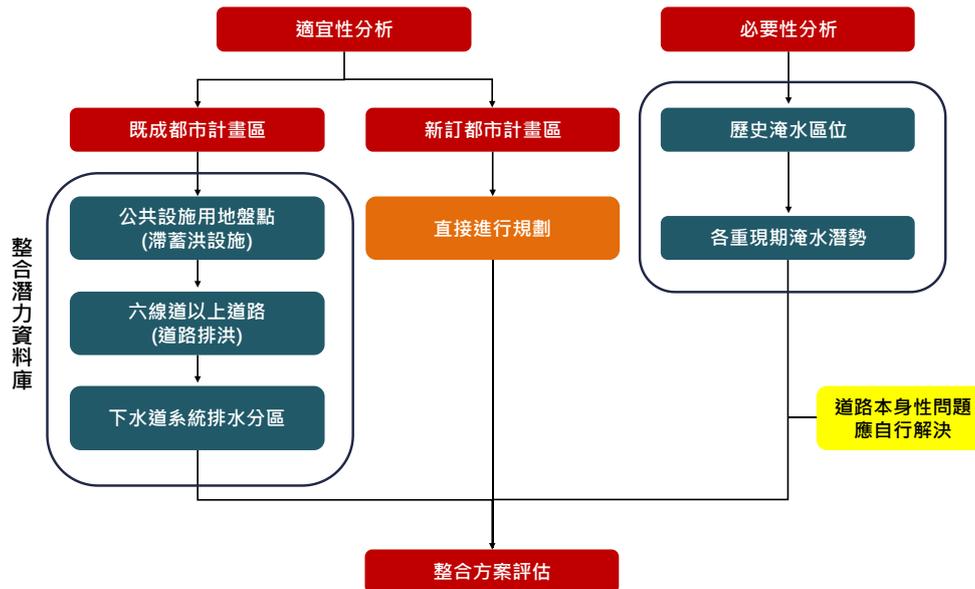
該研究評估國內排水系統與交通路網具有整合潛力之面向，分別就道路本身設計與區域系統性問題進行改善整合潛力分析。道路本身設計問題之改善整合方式包含：(1)路面蒐集系統改善整合、(2)側溝系統改善整合及(3)低衝擊開發設施導入；區域系統性問題改善整合方式包含：(1)交通島整合、(2)路網沿線節點設施整合及(3)交通路網傳輸洪水整合等，並依據研擬推動期程分為短、長期方案（表 2.5-2）。

表 2.5-2 交通路網與排水系統整合方式與推動期程一覽表

層面	整合方式	潛力分析說明	推動期程	
			短期	長期
道路本身設計改善潛力	進水口改善整合	落實相關規範設計要求	✓	
		調整相關規範或法令並建立標準化計算表		✓
	側溝尺寸改善整合	落實相關規範設計要求	✓	
		調整道路設計流程，於道路路線設計時即將排水需求納入考量		✓
低衝擊開發設施導入	導入透水鋪面、雨水花園等小規模低衝擊開發設施	✓	✓	
區域系統改善整合潛力分析	交通島整合	改為下凹式設計，在維持分隔車道之原有功能性下，兼具洪水遲滯、傳輸之功能		✓
	路網沿線節點設施整合	休息站整合設置滯洪設施	✓	✓
		匝道整合設置滯洪設施	✓	✓
		公園綠地等公共設施整合設置滯洪設施	✓	✓
交通路網傳輸洪水整合	結合道路橫斷面設計、人行道緣石高度與建築物防洪設計高程基準線等，以交通路網傳輸洪水或連結交通路網沿線節點設施		✓	

資料來源：經濟部水利署，因應氣候變遷防洪策略之排水系統與交通路網整合方案研究，民國 105 年、本計畫彙整。

方案評估前，需先分析適用區位（圖 2.5.2），包括是否具規劃必要性，首先依據道路系統周邊是否具相關排水系統（公園、綠地、學校用地、停車場用地等），再依據水利署重現期淹水潛勢，如為易淹水潛勢區，則進行區位整合方案之評估。



資料來源：本計畫繪製。

圖 2.5.2 整合方案評估流程流程圖

#### 5. 高公局：國道因應強降雨之排水滯洪作為 (109 年) [33]

氣候變遷致強降雨情形不斷，為紓緩國道周邊淹水問題以正常運行主線、匝道、交流道等交通設施，高公局在兼顧設施穩定、用路人行車安全及生態保育的考量下，於公路主線、匝道、交流道設置排水設施、透水鋪面、滯洪池等基地保水工程，提供安全行車環境。

具體作為包括：(1) 既有高速公路除設置排水溝、集水井及排水涵管、(2) 利用主線沿線綠帶或交流道區植栽綠地吸納雨水並於適當地點設置滯洪池，緩衝集中的降雨及地面逕流，減輕排水設施負擔，目前已於交流道設置約 21 處滯洪池或生態池。

另未來新建國道或新增交流道，均會考量環境永續，並配合出流管制、逕流分擔等相關規定，將排水及滯洪需求納入，於交流道或必要路段設置排水及滯洪設施，配合現地環境，採用透水性地面、設置排水滲流溝、多孔隙護岸及護坡等，利用土地保水功能，因應極端氣候之豪大雨。

#### 6. 交通部公路總局：省道改善計畫 (108-113 年) (107 年) [34]

公路總局因應極端氣候，持續辦理省道改善計畫。各區養護工程處所管路段依據經濟部中央地質調查所公布之落石、岩屑崩滑、岩體滑動、土石流等高潛勢敏感區為基礎，再與公路歷年坡災位置比對後提出改善工程方案，或由書圖資料 (邊坡分級、風險地圖、路段監控) 輔助，提出相關對策。

(1) 避開對策：嚴重落石、地滑或山崩路段等高潛勢敏感區無法有效治理時，可採改線方式處理。

(2) 防護對策：興建明隧道使落石時不致傷及人車。

橋梁方面則依據評估結果，如有沖刷裸露後導致耐洪能力不足之情性，因應急迫性辦理補強或改建，提升橋梁可靠度。

## 7. 國內公路系統規劃階段調適作為之綜合分析

回顧公路系統規劃階段調適機制與方法，交通部高速公路局為解決國道強降雨所導致的淹水問題，於公路設施設置排水設施、透水鋪面、滯洪池等保水工程，提供安全行車環境、減輕排水設施負擔，目前已於 21 處交流道設置滯洪池或生態池，另未來新建國道或新增交流道，需將排水及滯洪需求納入以因應極端氣候之豪大雨。

省道方面，交通部公路總局因應極端氣候發展，提出避開（高潛勢敏感區無法有效治理時，可採改線方式處理）或防護（明隧道）對策；另提出「因應氣候變遷之公路設施整建策略」，例如：「道路改線」、「隧道或橋梁型方式通過」、「重新選擇路廊」等；由於臺灣地質構造破碎陡峭，亦針對邊坡災害復建工程提出看法，包括「設計階段的復建對策及工法之重要性」、「山區道路之復建應避開高度環境敏感區域」，或「設計工法能避免重複致災」。國科會亦研擬出橋梁防災與延壽設計需考量與研究重點，包括（1）彙整災害經驗及潛在發生型態後提出橋梁設計準則、（2）配合政府的調適相關策略，擬定能提升橋梁調適能力、有效降低複合型災害脆弱度及風險的方案，至於研究重點與考量則包括「各領域的災害潛勢評估成果」、「橋梁建設方案的耐受度與脆弱度風險評估與管理方法」等。

公路系統在氣候變遷下的課題需跨部門共商解決，故經濟部水利署規劃將排水系統與交通路網進行整合，建立水利防洪、交通運輸之整合機制。

整體而言，國內公路系統在調適機制與方法上，多僅針對當前公路設施在運行上所面臨的問題進行解決，雖有考量氣候變遷的影響，但多以單點面向或單向設施考量，尚無法從整體面與整體系統看到即將面對的各項氣候挑戰與因應作為，因此建議通盤檢視各公路系統未來所會面臨的危害，據以建立適合國內的調適機制與方法。

## 2.6 小結

運輸系統在氣候變遷的環境下將更頻繁地面臨強降雨、颱風、溫升帶來的暴雨、強風、高溫與熱浪等極端事件的衝擊。為積極因應前述極端事件的衝擊，需持續滾動檢討運輸系統調適策略，而考量公路系統與民眾生活最為息息相關，本計畫優先選擇探討公路系統於規劃階段強化調適能力之機制與方法。

本節就國際氣候變遷調適標準與趨勢、先進國家調適策略及措施以及國外公路於規劃階段之調適機制與方法，彙整重點摘要以做為國內運輸系統調適策略滾動檢討及公路系統強化調適機制與方法之參考借鏡。

### 1. 國際氣候變遷調適標準

為輔助組織研擬氣候變遷調適策略，國際標準組織於 2021 年發布《ISO 14091 氣候變遷調適－脆弱度、衝擊與風險評估指引》(Adaptation to Climate Change—Guidelines on Vulnerability, Impacts and Risk Assessment)，訂定氣候變遷風險評估的相關流程與作業及注意項目，例如評估的衝擊因子與指標的界定、評估的時間軸與精度等。國內調適策略可借鏡處為風險評估訂定的注意事項參考。例如，該標準中提到訂定風險評估範疇，包含資料精度、相關的族群、需納入的危害類型、評估的地點、評估的地理與時間精度、評估使用的方法等。

在時間範疇的界定上提到，「不久的將來」相比「較久遠的將來」更適用於研擬調適策略之依據，除非系統需要較長的時間調適（例如森林生態系統）。風險評估的時間範疇設定應採取至少 30 年。針對海平面上升或壽年較長的設施（例如橋梁），則建議可採用 100 年做為風險評估範疇。並在風險評估時就評估與訂定出調適行動應啟動的時間點。

### 2. 先進國家調適策略及措施

- (1) 國外調適趨勢大致圍繞著政府間氣候變遷專門委員會 (IPCC) 第 5 次評估報告 (AR5) 所提之氣候風險概念發展，由氣候危害指認、風險因子暴露度及脆弱度分析等面向，進行氣候風險評估並研提各項基礎設施調適策略。

- (2) 歐盟新一期氣候變遷調適策略所訂關於氣候風險與損害數據量化、私部門保險體系整合、國家自然災害保險計畫研議等，或可為國內調適策略借鏡之處。極端天氣事件造成自然環境傷害、經濟損失之回復往往耗費大量公共財政資源，建議應訂立損害數據蒐集及分析指南，建構氣候風險對國家財政架構之影響評估方法，並邀集私部門保險業者研議國家氣候變遷傷害保險機制等具體措施。
- (3) 國外運輸系統調適策略除定期更新外，也在其他相關建設與發展計畫中導入調適的概念，例如蘇格蘭的運輸調適計畫，愛爾蘭的調適策略也提及跨部門間的相互影響與認知及合作的重要性，並應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，研擬對應的調適作為。規劃中的設施需在投資計畫中研擬因應極端氣候的韌性作為與長期調適需求。
- (4) 日本針對運輸系統如何考量氣候變遷環境下的威脅與評估風險制定一套評估方法，在評估結果上建議選取將對專案執行造成重大衝擊之氣候風險，擬訂相應的調適措施，再由效益、財務及技術可行性兩面向，分析調適措施實行之優先次序。

### 3. 國外公路系統於規劃階段之調適機制與方法

- (1) 美國國家協作公路研究計畫(NCHRP)提出進入調適工程評估的過程需先評估計畫的區位與氣候變遷對該區位環境可能產生的影響，需特別注意鄰近的敏感地區，也需要辨識計畫所有的利害關係人(如聯邦政府、州政府、地方政府等)與既有的調適政策，以評估調適設計在執行上可能碰到的衝突與機會，並評估調適計畫需要的力度。在計畫需求上則要區分新建與改善計畫的需瞭解計畫需求，如是新建計畫，設計上需考量設施的使用年期，如是改善計畫，則需考量既有設施的剩餘壽命，以利評估設施在使用期間可能面臨的氣候壓力。
- (2) 為進一步運用氣候變化數據來進行工程評估和設計，美國聯邦公路管理局(FHWA)於2017出版《以綜合方法提升專案開發的氣候韌性》報告。該報告除了描述了氣候敏感性、FHWA出版的指南、經驗傳承及調適方案，並彙編了從4個工程學科(海岸水利學、河岸氾濫、鋪面和土壤、機電系統)中汲取的大量經驗教訓，其中一些主題涉及多

個學科或各學科對於氣候變遷傷害的知識差距，可做為擬定國內調適策略及調適研究的參考。

- (3) 為協助公路規劃人員了解公路面對氣候變遷與極端事件可能受到的衝擊，提升公路長期調適能力，世界各國正積極提出對應氣候變遷的調適框架及對策。美國國家協作公路研究計畫（NCHRP）於 2014 年發布《氣候變遷、極端氣候與公路系統：實務手冊》提出公路運輸系統對應氣候變遷的調適框架，並詳細說明框架內各步驟之操作流程，可做為強化國內現況公路調適機制之參考。
- (4) 加拿大英屬哥倫比亞省交通局（BCMOTI）於 2020 年提出新版《公路建設專業實務指導手冊》定義氣候調適措施意指可減少基礎設施的脆弱性以因應極端氣候影響的措施。透過整合氣候調適策略及措施設計和建造的基礎設施，以應對特定的氣候變遷衝擊。氣候調適措施不僅限於增加基礎設施能力或強度，還可包括：增強營運和維護管理能力、運用不同的建築材料或方法、選擇不同的基地位置、分階段降低臨界值事件被觸發的可能性、進一步研究或更詳細的分析，或監測可增強氣候變遷韌性的項目及相關數據。基礎設施設計階段可應用的調適措施可分為 5 大類：現狀設計、彈性設計、穩健設計、觀察法、低或無悔策略。該手冊亦指出儘管專業人員遵循了本手冊中定義的建議操作標準來執行氣候風險評估保證聲明，仍不能保證特定的設計在將來的氣候條件下不會出現問題，此為重要的借鏡觀念，亦顯示氣候變遷風險評估與調適為滾動式的工作，需持續依據可掌握的氣候條件與設施狀態調整。
- (5) 調適框架的可應用性可能因國家或地域不同而有很大的差異。對於區域內尚未開始建立系統性氣候變遷調適策略的公路主管機關，無論是在運輸部門內還是跨部門，可能無法從整體面看到即將面對的挑戰。有鑑於各國起始點的差異，有些國家已具有某些對道路或資產進行風險評估的方法，因此建議針對國內現有公路風險評估方法，引入氣候變遷應考量面向，或是將既有方法置於氣候變遷調適框架之內，量身訂做符合國內的調適機制與方法。

## 第三章 運輸系統調適策略滾動檢討

為輔助交通部依《溫管法》規定研議運輸系統氣候變遷調適策略，本計畫以 109 年度「運輸系統因應氣候變遷調適之研究」所研擬的調適策略為基礎，綜合考量國際調適趨勢、運輸系統設施權責機關（構）當前之調適作為及策略推動課題及建議，滾動檢討並提出經檢討後之運輸系統調適策略。

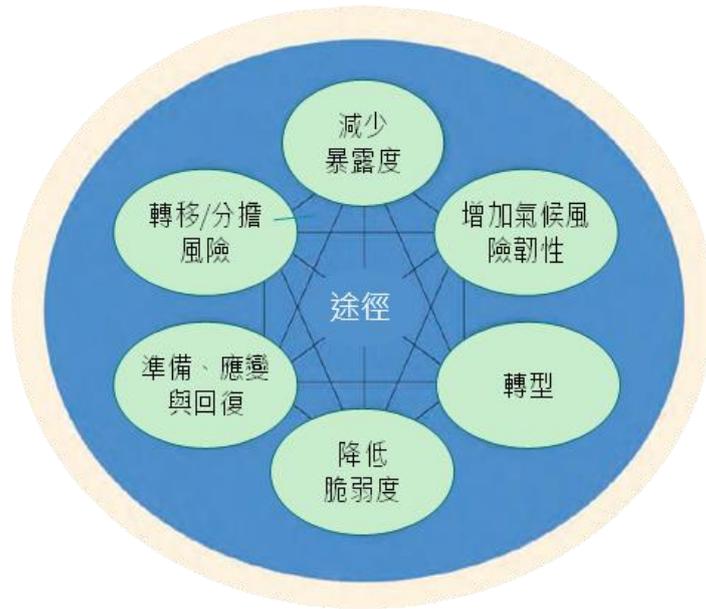
本章架構如下：首先於 3.1 節概述前期運輸系統調適策略與措施，即為本期滾動檢討的標的；接續，以 3.2 節說明本期調適策略滾動檢討之作業流程；3.3 節綜理本期調適策略之檢討重點，並呈現檢討前後之對照；3.4 節則逐一說明本期調適策略與措施之內容；最後，於 3.5 節以表格綜理本期檢討後之調適策略與措施之全貌，以利參考。

### 3.1 前期調適策略概述

IPCC 於 2012 年發布的《管理極端事件及災害風險以促進氣候變遷調適-給決策者的摘要》（Managing The Risk of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation -Summary for Policymakers）<sup>[35]</sup>中建議，面對全球氣候變遷，調適及災害風險管理可採六大途徑加以因應，如圖 3.1.1 所示。

考量氣候變遷環境下，極端天氣事件對運輸維生基礎設施的潛在威脅日益嚴峻且迫近，109 年的調適策略嘗試融合上述 IPCC 所建議的風險管理六大途徑，對於調適策略進行再結構，期能更有系統地強化運輸系統氣候變遷的風險管理工作，如圖 3.1.2 所示。

在「建構具氣候變遷韌性的運輸系統」目標的指導之下，依循 ISO 14090 揭示的 10 大調適原則再檢視策略內容。依據四大調適策略架構，重新組構 108 年調適策略內容，並納入 109 年於滾動檢討作業各步驟中所獲得之啟示、意見及建議，計綜理為 15 項調適措施，如圖 3.1.3 所示。



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

圖 3.1.1 氣候變遷下調適及災害風險管理的六大途徑



資料來源：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。

圖 3.1.2 融合 IPCC 風險管理六大途徑的四大調適策略 (109 年)



資料來源：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。

圖 3.1.3 109 年四大策略及 15 項措施架構示意圖（109 年）

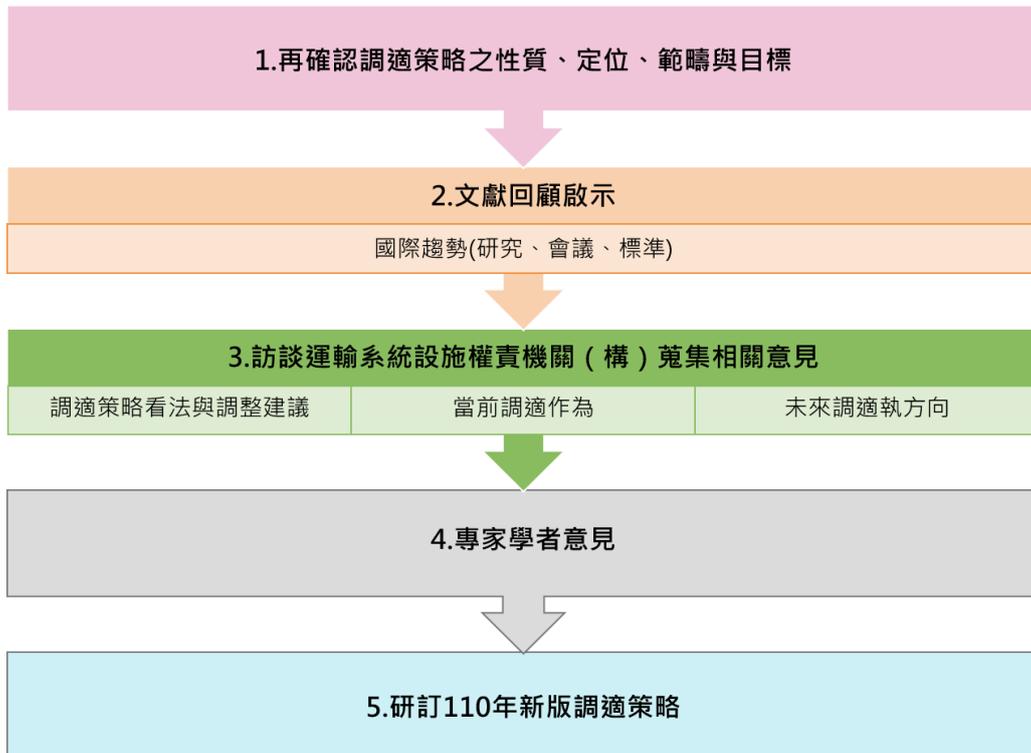
## 3.2 調適策略滾動檢討作業流程

本期滾動檢討作業分為 5 個步驟進行，如圖 3.2.1 所示。說明如下：

### 1. 再確認調適策略之定位、內涵、範疇與目標

#### (1) 調適策略之定位

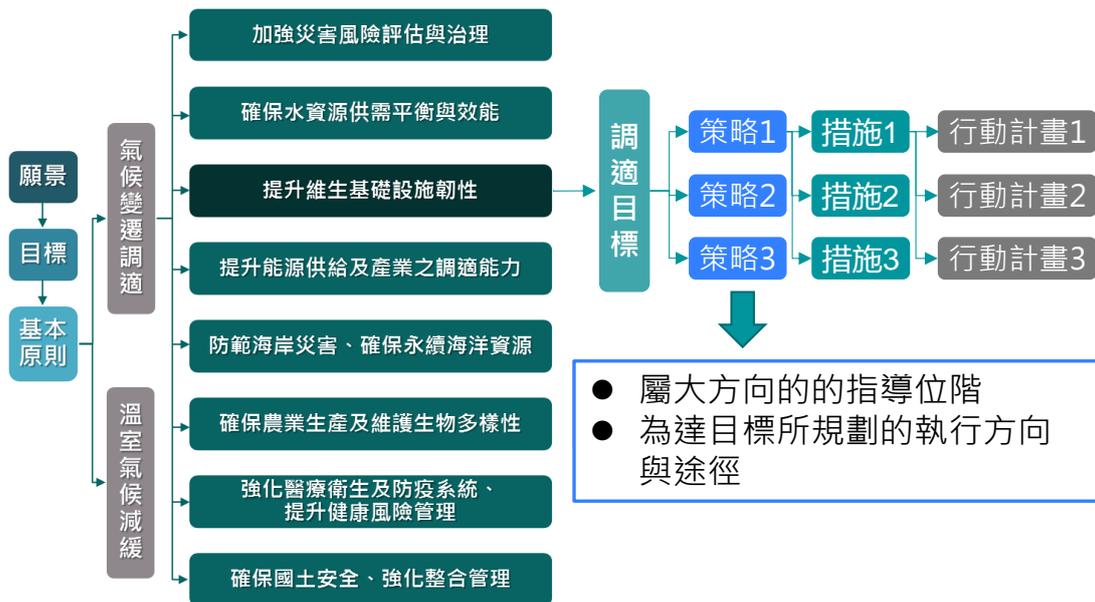
依據我國氣候變遷調適計畫架構，運輸系統屬於維生基礎設施之一環，應依循整體維生基礎設施的調適方針推動調適作業。運輸系統調適策略上承《氣候變遷行動綱領》，下銜各運輸子系統設施權責機關（構）之調適行動計畫；由於需包容各運輸子系統之需要，因此在性質上屬大方向的指導原則而非具體的行動指南。



資料來源：本計畫繪製。

圖 3.2.1 調適策略檢討作業流程

國家因應氣候變遷行動綱領(環保署) ↔ 調適行動方案(相關部會與部屬機關)



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

圖 3.2.2 國家氣候變遷調適計畫架構

(2) 調適策略之內涵

由於氣候變遷調適於我國仍屬於較新議題，且其相關作為與我國已推動落實許久之災害防救有許多相似之處，故容易產生兩者關係不明、混為一談的狀況。環保署於 109 年 9 月 24 日與 9 月 29 日召開「國家氣候變遷調適成果報告座談會」，會議中揭示氣候變遷調適行動計畫應具有以下 3 項特性，說明調適策略與防救災策略之基本內涵有所不同：

- ① 建構在風險評估及風險管理架構之下，因應氣候變遷所增加的風險而採取的因應作為，並持續追蹤調適的成效。
- ② 長期以來持續進行的工作或日常養護作業（如例行性的監控與補強汰換工作），若非因應氣候變遷的影響而新增者，即不屬於「氣候變遷調適」行動計畫。
- ③ 面對「『氣候變化』本身正在變化」，因應此種現象或趨勢所進行的策略與行動。

### (3) 調適策略之範疇

以下依序就 (1) 設施、(2) 時空及 (3) 氣候狀態等 3 面向界定本計畫研擬之調適策略所考量之範疇：

#### ① 設施範疇

- a. 鐵路：場站、路線重要設施以及系統設施之營運。
- b. 公路：路線重要設施以及設施之營運。
- c. 機場：空側與陸側設施及設施之營運。
- d. 商港：海域與陸域設施及設施之營運。

#### ② 時空範疇

除了以現況的氣候衝擊為策略研擬基礎外，亦考量未來氣候變遷風險。

#### ③ 氣候狀態範疇

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

### (4) 調適策略之目標

環保署公布之《氣候變遷行動綱領》以「健全我國面對氣候變遷之調適能力，以降低脆弱度並強化韌性」為目標，而交通部研提之《調適行動方案 (107—111 年)》則以「建構能適應氣候變遷環境的韌性運輸系統、提升運輸設施氣候變遷調適能力」為策略。依循上位計畫之指導，本計畫之調適目標仍沿用 109 年計畫所設定之「建構具氣候變遷韌性的運輸系統」。



資料來源：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。

圖 3.2.3 調適策略目標

## 2. 文獻回顧啟示

參考國外調適新趨勢，包含先進國家調適政策、國際研究組織成果、ISO 14091 以及其他相關研究成果等，綜理可供國內借鏡處，說明如下：

### (1) 國際氣候變遷調適標準

為輔助組織研擬氣候變遷調適策略，國際標準組織 (ISO) 於 2021 年發布 ISO 14091 氣候變遷風險評估的標準，訂定氣候變遷風險評估的相關流程與作業及注意事項，例如評估的衝擊因子與指標界定、評估的地理與時間精度、評估使用的方法等，可做為國內調適策略風險評估訂定的考量或參考依據 (詳見 2.3.1 節)。

### (2) 先進國家調適策略及措施

國外調適趨勢大致圍繞著 IPCC AR5 所提之氣候風險概念，由氣候危害指認、暴露度及脆弱度分析等面向，進行氣候風險評估並研提各項基礎設施調適策略。

歐盟 2021 年新一期氣候變遷調適策略強調更智慧化、更系統化、更迅速的調適，所訂定關於氣候風險與損害數據量化、私部門保險體系整合、國家自然災害保險計畫研議等，或可為國內調適策略借鏡之處。另外，蘇

格蘭與愛爾蘭皆於 2019 年提出針對運輸部門的氣候變遷調適計畫可供參（詳見 2.3.2 節）。

### 3. 訪談運輸系統設施權責機關（構）蒐集相關意見

訪談的重點主要係在瞭解機關（構）在《調適行動方案（107—111 年）》的執行情況與衍生的課題、對於 109 年計畫的調適策略架構與措施內容的看法與建議、目前機關（構）的調適作為與未來調適的規劃或想法等，做為滾動檢討調適策略之參考。

本年度為更完整掌握機關（構）執行 109 年的調適策略的情形，並了解機關（構）對於各項策略措施推動優先性的看法，另結合策略措施推動調查問卷加強蒐集資訊，問卷調查結果摘述如下：

#### (1) 設施管理機關（構）調適推動情形

##### ① 當前調適策略推動作為

當前四大調適策略在強化運輸系統預警應變力（策略二）上相對於其他策略較有積極作為。目前高公局、公路總局與高鐵公司皆有建立氣候事件預警應變網絡，而高公局已檢討並調整橋梁、邊坡與鋪面的風險監測；公路總局、高鐵公司與民航局則尚無檢討風險監測。

##### ② 調適措施推動優先性

在調適措施推動優先性上，各設施管理機關考量優先重點有別：高公局以措施 1-2：迴避高風險潛勢地區，持續受損點位改線或廢線、措施 2-2：檢討並調整氣候變遷環境下之風險監測機制與措施、4-3：建置或應用風險管理與調適所需資料庫及工具為最優先推動；公路總局以措施 1-1：建立設施安全性與風險評估方法、措施 2-1：建構跨運輸系統預警應變網絡、措施 2-2：檢討並調整氣候變遷環境下之風險監測機制與措施 4-1：建立調適計畫投資決策評估方法為最優先推動；高鐵公司則以措施 1-3：檢討並將氣候調適概念納入規範或作業程序為最優先推動（以上措施採 110 年報告之編碼）。

##### ③ 策略推動之困難

在推動各項調適措施面臨的限制或困難原因，主要為人力與技術：高公局面臨之限制多為人力與技術；高鐵公司則多面臨人力、經費與

溝通協調等推動限制；公路總局和民航局則面臨人力、技術、經費與溝通協調等推動限制。

#### (2) 機關對調適策略與措施之建議

機關（構）皆表示目前的四大策略 15 項措施是足夠的，建議本計畫可就各項策略思考細項工作如何推動及辦理，並建議可再廣為推展、新增成功案例說明及辦理教育訓練等，讓各單位/機關業務人員更加熟稔，以瞭解實務上應如何操作。

#### 4. 專家學者意見

本計畫於 110 年 8 月 31 日針對運輸系統調適策略辦理一場專家學者座談會，座談會紀錄詳見附冊四。出席會議之專家學者皆認同本計畫提出四大策略 15 項措施之內容，認為整體方向正確，建議後續可加強決策機制，協助及引導機關決定調適策略優先順序。另外，建議加強各部屬機關調適作為應進行系統性檢視與追蹤，可參考 ISO 14090 及 ISO 14091 氣候變遷調適之準則及程序來檢視其調適作為。

#### 5. 研訂 110 年新版調適策略

綜理國際調適趨勢，結合設施權責機關（構）當前調適作為與訪談之建議，並透過辦理專家學者座談會集思廣益，提出 110 年新版運輸系統調適策略。

### 3.3 本期調適策略檢討重點

近年來國際上的調適趨勢強調跨部門間的交流與合作、利害關係人的參與及合作、整體性地思考調適工作等，並持續發展與優化上述工作的執行方法，109 年所研擬的四大調適策略與 15 項調適措施基本上業已接軌國際氣候變遷調適最新發展趨勢。

而依據運輸系統設施權責機關（構）訪談亦顯示，109 年計畫提出的四大調適策略 15 項調適措施足夠做為調適行動研擬的參考與依據，惟建議可再增加案例與相關執行說明，做為實務執行上的參考；經專家學者座談會之討論檢視，亦肯定 109 年計畫之策略方向及內容正確，惟期望策略能有效引導機關（構）能採行更系統化的調適作為。

基於上述背景，本年度調適策略滾動檢討之重點如下：

#### 1. 再檢討調適策略架構的周延性及實用性

##### (1) 依據氣候事件前、中、後的調適需求，再檢視調適策略的周延性

雖然各界普遍認同 109 年策略已經具有相當的完整性及正確性，惟考量氣候風險幾乎無時不刻存在，且通常具有不可抗力、無法完全預知的特性，故一套周延的氣候變遷調適策略必須兼顧氣候衝擊前的準備、衝擊中的警覺應變、衝擊後的快速回復以及可支持平日建構調適能力的指導需要。因此，本年度嘗試以極端事件發生的時間階段檢視 109 年調適策略的周延性。

##### (2) 參考管理機關（構）之組織分工，重新檢視調適策略與事權的對應性

考量各運輸子系統管理機關（構）現行事權分工，一般而言，建設與管理事權往往分屬不同的部門，為使各項策略之推動權責分工更加明確，以利機關（構）於研提行動計畫階段協調主、協辦部門，乃將建設與管理策略適度區隔。

##### (3) 考量調適策略之指導位階，重新調整用詞以利溝通

調適策略作為調適行動計畫研擬之依據，重要用詞應以簡明為原則，以利溝通。經檢視 109 年調適策略標題所使用之「脆弱度」、「反應力」等名詞之意涵較為複雜，恐因理解落差而淪為各自解讀的情形，影響溝通效率。故本期嘗試改採較明確、易解讀、易記憶的用詞。

基於以上考量，檢討調適策略架構如圖 3.3.1。檢討前後之策略架構對照如表 3.3-1。檢討後之策略意涵說明如下：



資料來源：本計畫繪製。

圖 3.3.1 運輸系統氣候變遷調適目標及四大策略

(1) 策略一：提升衝擊耐受力

「衝擊耐受力」係指運輸系統在維持其正常功能下可承受的最大衝擊限度，提升系統衝擊耐受力屬面臨氣候衝擊前系統整體強化的概念。對應 IPCC 的六大調適途徑，其中「增加氣候風險韌性」、「減少暴露度」以及「降低脆弱度」較偏向提升衝擊耐受力的作為。

(2) 策略二：強化預警應變力

「預警應變力」指運輸系統可提早發現異常狀況並快速調度資源因應的能力，強化系統預警應變力旨在建構系統面對氣候衝擊時能及早取得正確資訊並迅速應變的能力。對應 IPCC 的六大調適途徑，其中「準備、應變」較偏向強化預警應變力的作為。

### (3) 策略三：提高系統回復力

「系統回復力」係指運輸系統在受到氣候衝擊後可回復運輸功能的能力，提高系統回復力旨在建構系統遭受氣候衝擊後可利用靈巧的手段快速恢復運輸功能的能力。由於各運輸系統之間可能具有彼此替代的關係，因此，對應 IPCC 的六大調適途徑，其中「回復」、「轉移/分擔風險」較偏向提高系統回復力的作為。

### (4) 策略四：增進決策支援力

具韌性的運輸系統需要足夠的謀略，以支援運輸系統在面臨各種情況下的維持其基本功能。增進資源決策力旨在厚實運輸系統面臨氣候變遷環境下各種因應氣候衝擊的謀略與資源。對應 IPCC 的六大調適途徑，其中「轉型」、「轉移/分擔風險」較偏向增進決策支援力的作為。

表 3.3-1 調適策略架構調整前後對照表

109 年計畫		110 年計畫	
運輸系統四大調適策略	一、提升氣候衝擊耐受度	運輸系統四大調適策略	一、提升衝擊耐受力
	二、降低氣候衝擊脆弱度		二、強化預警應變力
	三、優化氣候衝擊反應力		三、提高系統回復力
	四、建構氣候衝擊決策力		四、增進決策支援力

資料來源：本計畫彙整。

## 2. 配合檢討後策略架構重組調適措施

在上述四大調適策略的架構之下，依據各項策略之意旨，重新組織調整措施的內容及順序，並適度簡化措施的標題，以利閱讀。經檢討後仍維持 15 項措施，如圖 3.3.2 所示。檢討前後之措施對照參見表 3.3-2。

## 3. 補強各項調適措施之內容說明

除了上述策略架構調整以及措施重新組構之外，復參酌各方建議，補強各調適措施之說明內容，詳如 3.4 節。補強面向包含：

### (1) 納入本期文獻回顧相關發現

各項措施之說明內容儘量再融入本期文獻回顧之相關重要發現，例如新調適作為或執行方法等。

(2) 加強實務執行說明並補充案例

針對機關（構）在調適業務推動上的困難處，搜尋類似案例供運輸系統設施權責機關（構）參考。

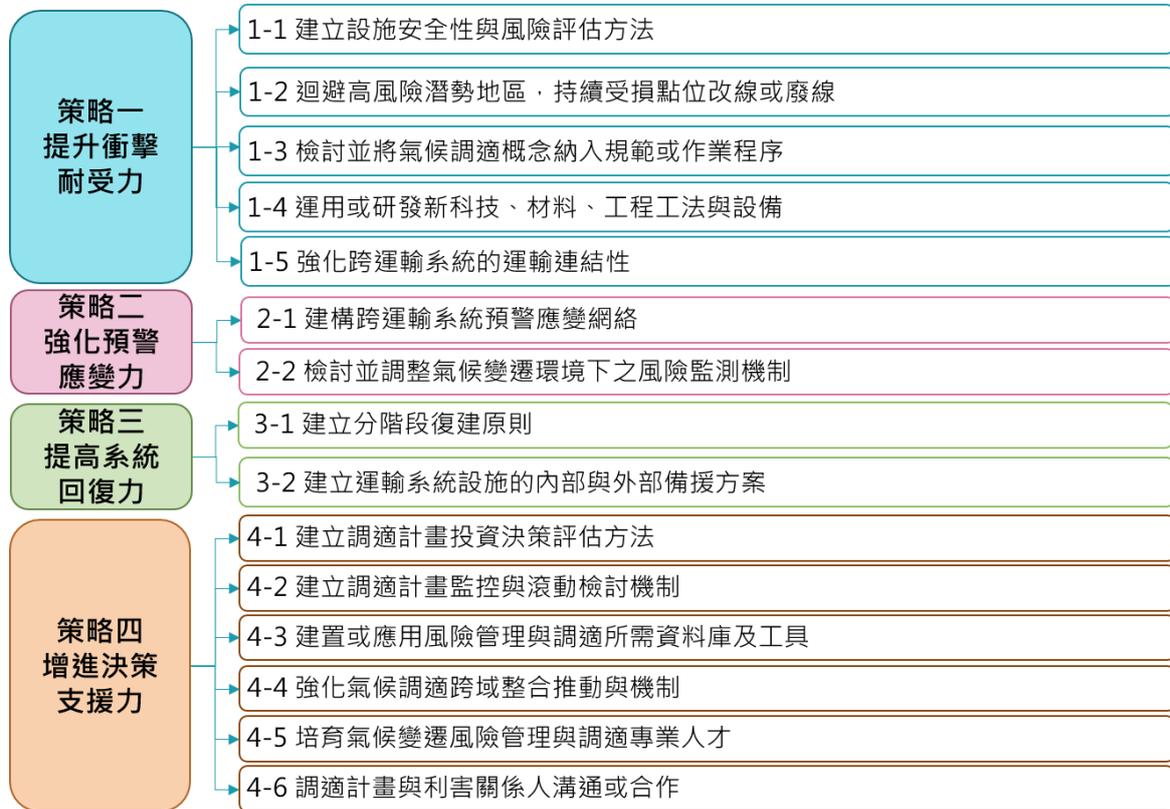


圖 3.3.2 運輸系統氣候變遷調適四大策略及 15 項措施架構圖

表 3.3-2 調適措施重整前後對照表

本計畫		109 年計畫		本計畫調整說明
構面	策略及措施	構面	策略及措施	
提升衝擊耐受力	1-1 建立設施安全性、與風險評估方法	提升氣候衝擊耐受力	1-1 建立設施安全性與風險評估方法、風險基準並定期評估	此策略原名為策略(一)提升氣候衝擊耐受力。為有效率推動調適策略，策略標題及措施皆改以簡明為原則，因此更名策略(一)提升衝擊耐受力，藉由調整用字、簡化標題，以利溝通。
	1-2 迴避高風險潛勢地區持續受損點位改、廢線		1-3 迴避高風險潛勢地區並考量周邊環境關係，持續發生受損阻斷之系統點位規劃改線、廢線	

表 3.3-2 調適措施重整前後對照表(續)

本計畫		109 年計畫		本計畫調整說明	
構面	策略及措施	構面	策略及措施		
	1-3	檢討並將氣候調適概念納入規範或作業程序	1-2	檢討並將氣候調適概念納入規劃、設計、施工及養護相關規範與作業程序	
	1-4	運用或研發新科技、材料、工程工法或設備	1-4	運用或研發有助提升衝擊耐受力的科技、材料、工程工法與設備	
	1-5	強化跨運輸系統的運輸連結性	2-2	加強跨運輸系統間的運輸連結性	
強化預警應變力	2-1	建構跨運輸系統預警應變網絡	3-1	建構跨運輸系統預警應變網絡	此措施原屬於策略(三)優化氣候衝擊反應力，因「反應力」名詞之意涵較為複雜故重新調整用詞以利溝通。配合本計畫調整後四大策略，歸納至策略(二)強化預警應變力。
	2-2	檢討並調整氣候變遷環境下之風險監測機制	2-1	檢討並調整氣候變遷環境下之風險監測	此措施原屬於策略(二)降低氣候衝擊脆弱度，因「脆弱度」名詞之意涵較為複雜故重新調整用詞以利溝通。配合本計畫調整後四大策略，歸納至策略(二)強化預警應變力，並補充說明增加「機制」二字以求完備。

表 3.3-2 調適措施重整前後對照表(續)

本計畫		109 年計畫		本計畫調整說明
構面	策略及措施	構面	策略及措施	
提高系統回復力	3-1 建立分階段復建原則	優化氣候衝擊反應力	3-2 建立分階段復建原則	此措施原屬於策略(三)優化氣候衝擊反應力，因「反應力」名詞之意涵較為複雜故重新調整用詞。配合本計畫調整後四大策略，歸納至策略(三)提高系統回復力。
	3-2 建立運輸系統設施的內部與外部備援方案	降低氣候衝擊脆弱度	2-3 建立運輸系統設施的內部與外部備援方案	此措施原屬於策略(二)降低氣候衝擊脆弱度，因「脆弱度」名詞之意涵較為複雜故重新調整用詞。配合本計畫調整後四大策略，歸納至策略(三)提高系統回復力。
增進決策支援力	4-1 建立調適計畫投資決策評估方法	建構氣候衝擊決策力	4-1 建立調適計畫投資決策評估方法	此策略原名為策略(四)建構氣候衝擊決策力。為有效率推動調適策略，策略標題及措施皆改以簡明為原則，因此更名策略(四)增進決策支援力，並針對措施4-2、措施4-3、措施4-4及、措施4-6調整用字、簡化標題，以利溝通。
	4-2 建立調適計畫監控與滾動檢討機制		4-2 建立調適計畫監控、評估與學習機制	
	4-3 建置或應用風險管理與調適所需資料庫及工具		4-3 建置氣候風險管理與調適計畫研擬所需資料庫及工具	
	4-4 強化氣候調適跨域整合推動與機制		4-4 強化氣候調適跨域整合推動與機制，加強資訊共享	
	4-5 培育氣候變遷風險管理與調適專業人才		4-5 培育氣候變遷風險管理與調適專業人力	
	4-6 調適計畫與利害關係人溝通或合作		4-6 辨識利害關係人並與其溝通或合作調適計畫	

註：標註底線之文字為差異之文字。

資料來源：本計畫彙整。

## 3.4 檢討後之調適策略與措施

### 3.4.1 策略一：提升衝擊耐受力

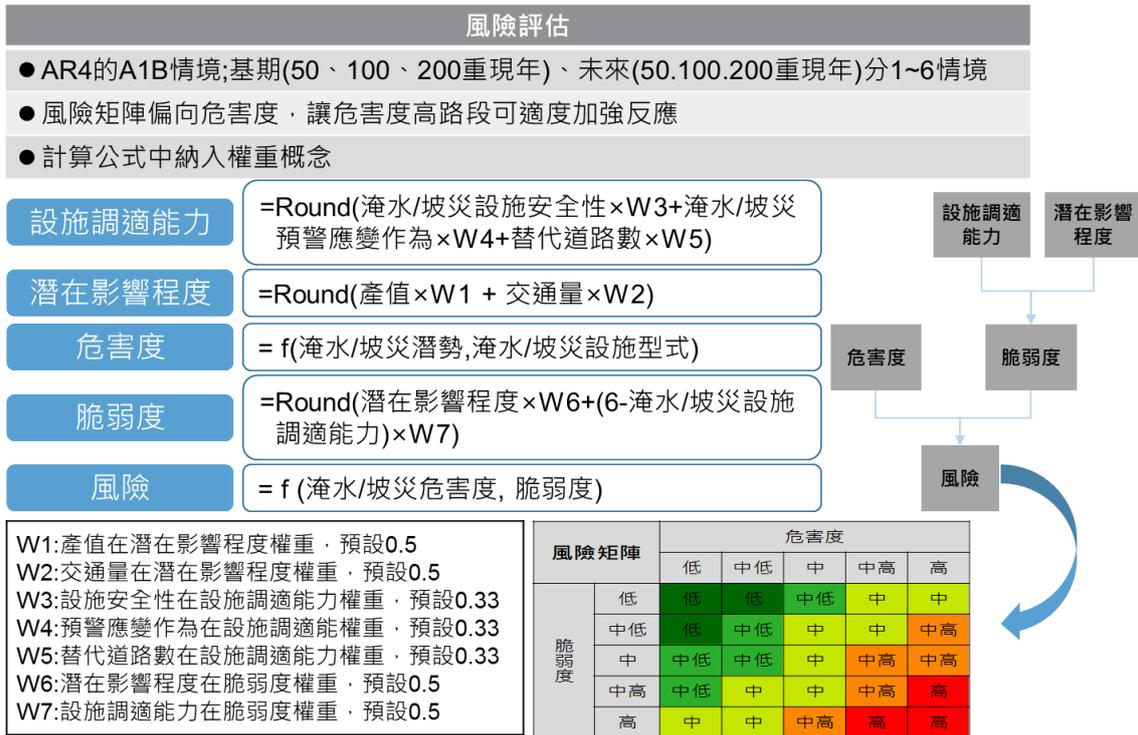
#### 1. 措施 1-1：建立設施安全性與風險評估方法

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

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

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

考量鐵公路系統涵蓋範圍極大，且為運輸服務的重要基礎（海空運輸設施均需鐵公路系統聯外），故本所已先行針對全臺重要鐵公路氣候變遷風險評估方法（圖 3.4.1），惟該套方法屬於大尺度評估，且僅聚焦於淹水及坡災，建議鐵公路管理機關（構）未來可擴大考量天氣事件範疇，並持續精進風險評估方法與評估指標，令評估結果更可靠。海空運輸系統方面，因屬單點式場域，相對不適合採用大尺度評估，故建議運輸系統設施權責機關（構）參考先進國家的風險評估流程與作法，建立我國機場及商港的風險評估方法，以做為氣候變遷中長期調適規劃的依據。



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

圖 3.4.1 鐵公路氣候變遷風險評估流程與方法示意圖

2021 年發佈的 ISO 14091 也針對氣候變遷調適的風險評估提出標準化的流程與注意事項，例如評估範疇的界定、評估數據的掌握與精度設定等。

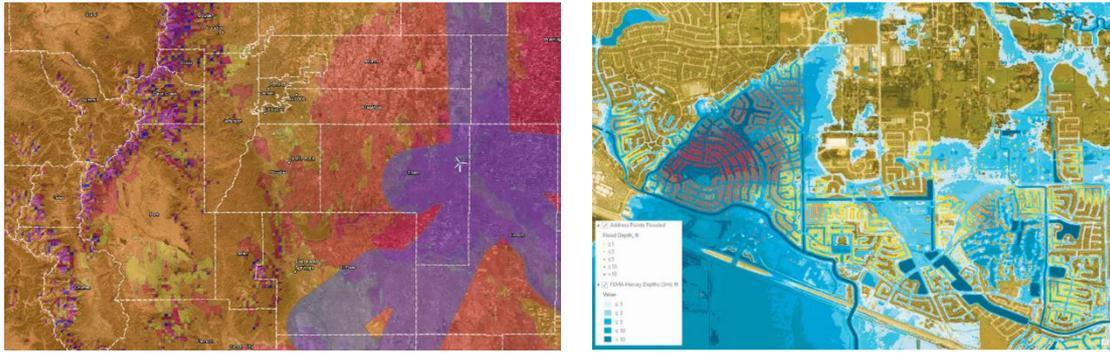
綜上，本項措施重點與建議執行單位簡要歸納如下：

(1) 設施權責機關（構）

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

2. 措施 1-2：迴避高風險潛勢地區，持續受損點位改線或廢線

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



資料來源：ArcGIS, 2020.

圖 3.4.2 GIS 選址分析示意圖

在氣候變遷之情境上可參考 IPCC 於《第 5 次評估報告》所發布之情境，以「代表濃度途徑」(Representative Concentration Pathways, RCPs) 做為 21 世紀末氣候狀態的模擬假設，共有 4 個情境 (表 3.4-1)，說明如下：

(1) RCP2.6

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

(2) RCP4.5

人為溫室效應為 4.5 瓦/平方公尺，二氧化碳濃度為 538ppm。

(3) RCP6.0

人為溫室效應為 6.0 瓦/平方公尺，二氧化碳濃度為 670ppm。

(4) RCP8.5

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

表 3.4-1 代表濃度途徑情境

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

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

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

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

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

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

由於國內實務案例目前大多無考量未來氣候情境，如台 9 線蘇花改計畫，建議未來國內相關計畫可加強此部分。

#### 調適實務案例：台 9 線蘇花改計畫

公路總局之蘇花公路以安全、可靠運輸服務及強化東部生命線道路耐受力為目標，以路段受損阻斷及交通肇事頻率高路段進行改善，主要分為「蘇澳至東澳段」、「南澳至和平段」及「和中至大清水段」，全長 38.8 公里，有 8 座隧道（24.6 公里）、13 座橋梁（8.6 公里）、平面道路（5.6 公里）。



資料來源：公視有話好說網站，<http://talk.news.pts.org.tw/show/15070>。

圖 3.4.3 重複性嚴重受損設施改線案例-蘇花公路山區路段改善計畫

蘇花公路多位於土石流潛勢區，卻是東部唯一聯外道路，又因近年強降雨之影響，使其容易發生邊坡滑落、路基坍方等災害。對於重複性嚴重受損設施因應作為是研擬其他替代道路(改道)。蘇花公路改善路段 109 年全線通車後，仍有部分路段必須行駛台 9 丁舊蘇花公路，因此於 110 年提出「蘇花安」計畫，希望改善沿線 3 處未改善路段，包括宜蘭東澳至南澳段、花蓮和平至和分段及和仁至崇德段，總長約 30 公里。

### 調適實務案例：臺鐵截彎取直計畫

臺鐵近年來也陸續提出改線計畫，如宜蘭線猴硐雙溪間線形改善工程可行性研究，該計畫曲線取直做新路線讓快慢車分流、列車提速，透過興建隧道、橋梁，可避開危險邊坡、高風險路段與地質敏感區域，且將彎道曲線拉直到 1,000 公尺以上，估計約 47% 路段能降低彎道、邊坡風險，讓列車能以時速 130 公里行經。

龜山站至外澳站間 3 處彎道半徑小於 600 公尺，且易因雨而積水、擋土牆坍塌，臺鐵規劃將路線西移，避開易致災區域與民房。新建彎道為半徑達 1,000 公尺的長隧道。



資料來源：臺鐵局，民國 108 年。

圖 3.4.4 臺鐵猴硐至雙溪改線計畫

表 3.4-2 臺鐵截彎取直彎道地點

改善路線	宜蘭新馬站	猴硐至雙溪	龜山至外澳
改善數量	1	16	3
原彎道半徑	306 公尺	<500 公尺	<600 公尺
改善後半徑	500 公尺	>1,000 公尺	1,000 公尺
預估經費	6 億	95.4 億	19.5 億
完工時程	111 年	114 年	111 年

資料來源：臺鐵局，民國 108 年。

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

(1) 設施權責機關（構）

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

3. 措施 1-3：檢討並將氣候調適概念納入規範或作業程序

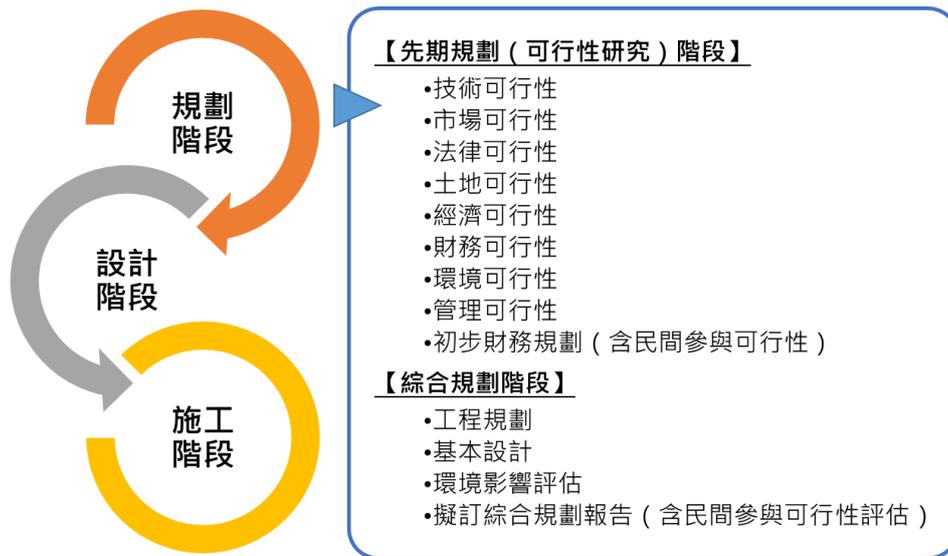
鑑於氣候變遷導致極端降雨、熱浪、強烈熱帶氣旋活動發生頻率與強度遽增，但既有運輸系統設施之相關規範與作業流程普遍未將氣候變遷因素納入考量，在此情況下，設施於未來恐將不足以抵擋極端天氣事件所帶來的衝擊，故有必要重新審視與檢討規劃、設計，養護以及施工相關規範與作業流程，將氣候變遷與調適的概念納入，提升系統在氣候變遷環境下的耐受力。

上述規劃、設計、施工及養護相關規範與作業流程之檢討，除了以歷史發生之最嚴重天氣事件做為規範之檢討依據外，更須將預測之氣候變遷情境下的現況及未來風險（利用氣候變遷情境與風險評估之分析結果，參見措施 1-1）納入考量，並明確規範在設施規劃階段（可行性研究、綜合規劃）須評估未來可能遭遇的天氣事件衝擊影響，並籌備專家認證和風險評估團隊研擬因應措施。

此外，亦建議規範設施之規劃、設計及施工規則，將分析及模擬結果納入設計（如，土石流敏感地，河川沖刷及洪水高漲等高風險地區之「橋梁結構相關設施」之設計規格）與養護相關規範中考量。對於未達使用年限之運輸系統設施的補強及改善，考量其使用年限相對較短，故可視情況容許其略低於檢討修訂後之設計標準。

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

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



- 資料來源：1. 行政院公共工程委員會，公共建設工程經費估算編列手冊總則篇，民國 107 年 2 月修正版。  
2. 行政院經濟建設委員會（現為國發會），公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊（97 年版；上冊），民國 97 年 10 月。  
3. 本計畫彙整。

圖 3.4.5 公共建設計畫辦理程序

綜上，本項措施重點與建議執行單位簡要歸納如下：

- (1) 設施權責機關（構）依氣候變遷情境所致風險潛勢之分析與模擬結果進行下列工作：
  - ① 檢討並提高設施抗氣候變遷環境標準。
  - ② 風險分析及氣候變遷模擬結果納入規劃、設計、施工以及養護相關規範、作業流程或手冊中考量。
- (2) 交通部訂定氣候衝擊影響評估的標準與應用之參數，並製作指導手冊，以為可行性評估與綜合規劃階段審查的標準。

### 調適實務案例：法國將調適納入運輸設施設計、維護與營運規範<sup>[36]</sup>

法國生態部（Ministry of Ecology, Sustainable Development and Energy）要求 Cerema 研究中心（Centre d'Études et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement）於 2015 年完成運輸設施的設計、維護與營運規範的系統性檢討。此檢討的目的主要係因應未來氣候環境調適運輸設施與系統，提高運輸系統設施與系統在面臨極端事件的韌性。新的規範以 2100 年的預測氣候環境做為考量的基礎，且特別針對較長壽年之運輸設施（100 年或更高）可因應未來的氣候環境與極端事件。

依據 2015 年發佈的法國氣候變遷調適計畫（The French National Climate Change Adaptation Plan），法國在 2100 年將面臨溫升 2 到 2.5°C，更嚴峻的碳排情境則可能達到溫升 3.5°C。高溫與乾旱發生的頻率將升高，連帶提升野火的發生機率。春季與夏季的降雨將減少，強降雨事件的發生頻率將降低，但強度增加，流域的水流也將改變，風向與海平面上升的改變幅度則有較高的不確定性，上述變化都將衝擊運輸設施與系統。

檢討規範的困難點在於界定氣候衝擊的影響程度，以設定設計標準、高強度的溝通作業以推動設施權責機關（構）推動運輸設施的調適、建立相關技術文件、規範與指引、氣候預測等之間的連結，以利整合。

檢討規範為複雜的工作，執行的團隊包含氣象與氣候專家與多個不同項目的運輸設施專家：道路、橋梁、土建、電纜、鐵路、航空、水道、航海與港，檢視既有的規範當前對於氣候因子的考量，並針對未來的氣候影響更新應考量的氣候因子，於設計、維護與營運等規範內考量設施韌性，檢討後的規範分為 3 類：

- (1) 不需檢討之規範，不受氣候變遷影響之項目，包含：道路噪音、道路景觀設計、道路排水規範、道路結構設計指南。
- (2) 需調整之規範：受氣候變遷衝擊之項目，道路鋪面設計。
- (3) 當前的資料尚不足夠評估是否需調整之規範：道路建設設計與建造、都市道路維護、長焊鐵軌鋪設等。

針對第 3 類，研究團隊再提出需蒐集的資料與進行的研究，以利辨識規範後續的調整必要性。

透過檢討規範可減省運輸系統長期的營運與維護費用，且可確保設施與系統在氣候變遷環境下的韌性。更新的規範將應用在壽年為 25 年至 100 年的新建、改善與維護設施上。

#### 4 措施 1-4：運用或研發新科技、材料、工程工法與設備

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

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

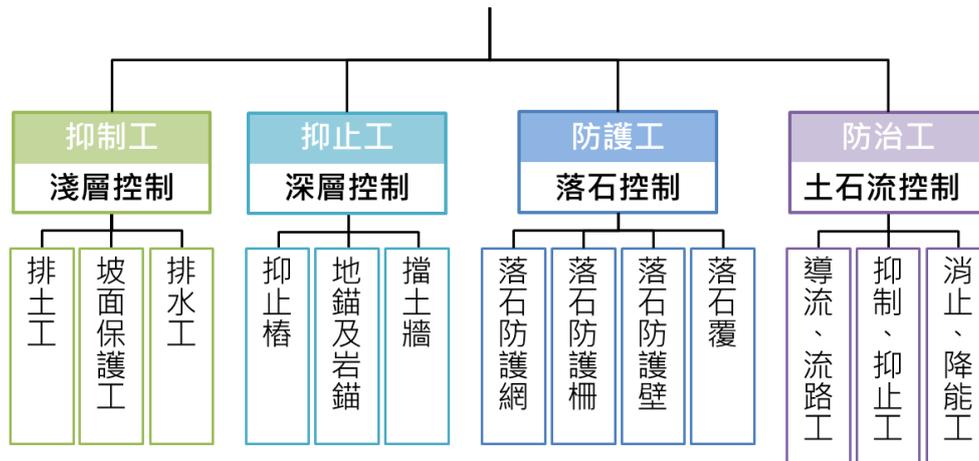


資料來源：經濟部水利署，因應氣候變遷防洪策略之排水系統與交通路網整合方案研究 (1/2)，民國 105 年、桃園機場公司，民國 108 年。

圖 3.4.6 防洪設施示意圖

公路在面對強降雨導致之坡災則可施予坡面穩定工程，包括屬於強化性質的抑制工、抑止工以及偏向預防性質的防護工、防治工等（圖 3.4.7）。面對高溫與強降雨影響，可運用耐溫度變化之道路鋪面材料（如自我修復瀝青鋪面材料），並在工程施作時考量降雨的影響，多推廣應用透水鋪面及排水鋪面，如高速公路應用多孔瀝青透水材料，降低雨天的積水與揚水（目前已在五楊高架、國道 6 號、南迴改應用），鼓勵研發或採用國外成功案例及具有公正力的單位認證之新工法、新材料等。

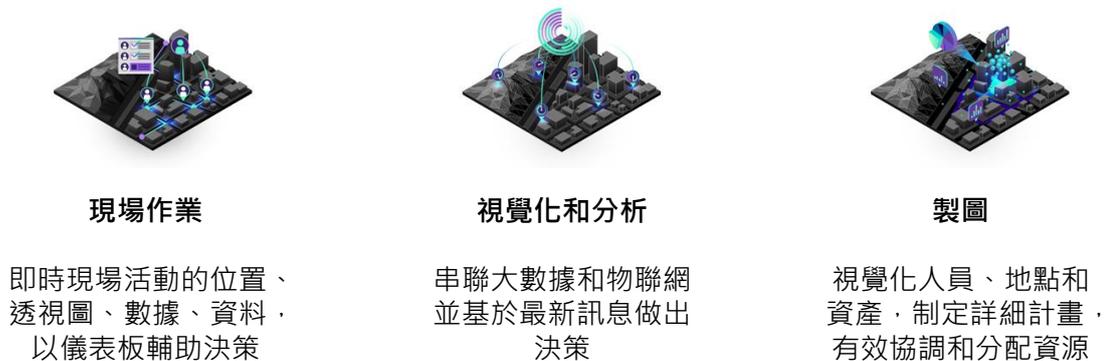
## 坡面穩定工法類型



資料來源：吳明溟，坡地災害及其防救，民國 107 年。

圖 3.4.7 坡面穩定工法類型

鐵路在因應高溫與強降雨的影響上，可運用長焊軌道、無碴軌道等作法因應高溫，降低軌道因高溫而變型與挫屈的風險，在強降雨上則可加強排水效能，運用 IoT 監測排水設施，以降低車站與軌道淹水風險。此外，運用 GIS 管理和維護設施，可幫助設施主管機關評估安全風險、制定計畫、保護人員和資產並改善日常營運。此技術可適用於整個系統所有型態設施的管理工作，善用數據管理可幫助設施管理員快速瞭解及掌握情形，並監督日常營運。



資料來源：<https://www.esri.com/en-us/industries/needs/facility-management>

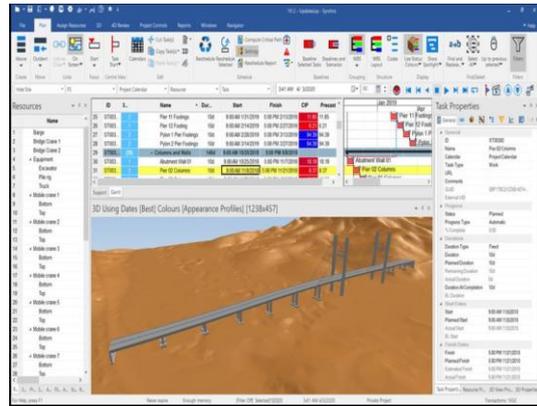
圖 3.4.8 地理資訊系統於設施管理之應用

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

以下簡要條列在本計畫界定之 5 大氣候壓力 (climate stressors) 下，應設法提升的衝擊耐受力，供設施權責機關 (構) 參考：

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

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



資料來源：Bentley, 2020.

圖 3.4.9 鐵公路數位分身示意圖

綜上，本項措施重點與建議執行單位簡要歸納如下：

(1) 設施權責機關（構）

- ① 依氣候變遷情境所致風險之分析與模擬結果，並視資源與需要應用科技、材料、工程工法或設備提升設施衝擊耐受力。
- ② 推動示範或先導計畫應用科技、材料、工程工法與設備並監測其提升衝擊耐受力的成效。

(2) 交通部彙整國內各研發單位技術並進行國外新技術的交流與移轉。

**實務案例：英國希斯洛機場（Heathrow Airport）調適計畫<sup>[37]</sup>**

希斯洛機場面臨強降雨、淹水、風向改變與濃霧等氣候狀態，且上述氣候狀態在氣候變遷的環境下越發頻繁，透過評估短期（2020年）與中長期（2020年到2050年）的氣候風險對於機場資產與營運的影響，在最嚴峻的情境下，有多達34個短期與中長期的氣候風險。

針對上述的氣候風險進行控制，並建立明確的管理流程與溝通計畫，以因應氣候對設施與服務造成的影響。所有的調適計畫需有強健的商業持續模式（robust business continuity models），並就運輸量能進行調整，以因應氣候的影響。

因應風向的改變，機場導入以時間為基準區間（time-based separation）措施，以計算每架入境飛機間的時間區隔，將飛機間的距離區隔。另外，也在機場運量管理上考量需求運量平衡（demand capacity balancing），亦更全面掌握機場的運量，並將全面的風向與氣象的改變納入計算。

每5年定期檢討氣候風險評估，以確保應用最新的氣候科學數據評估風險並界定對應的風險基準、商業與設施規劃流程，當前機場各個面向的營運也都納入氣候變遷調適考量，如投資計畫、機場管理系統等。另外，也納入新的設備、新的預測與應變流程與乘客服務等。

調適計畫的研擬過程中與機場內的航空公司共同參與，外部的參與人則包含環境署（Environment Agency）、國家航空交通服務控股公司（National Air Traffic Services）、希靈登倫敦自治市（London Borough of Hillingdon）、倫敦交通局（Transport for London）與路面運輸系統營運者等，以利辨識彼此間的相關性與各自政策可能對西施略機場管理氣候風險造成的影響。



資料來源：Heathrow Airport, Climate Change Adaptation and Resilience Progress Report, 2016.

圖 3.4.10 希斯洛機場平面圖

#### 5. 措施 1-5：強化跨運輸系統的運輸連結性

運輸系統設施除了提供客貨運輸功能之外，更是其他重要維生基礎設施在受天氣事件衝擊後進行修復的重要聯絡通道。為能在氣候變遷環境下盡量維持上述應有功能，除了應設法確保運輸設施主體不被天氣事件帶來的衝擊損壞外，更要避免跨運輸系統間的阻斷而致使運輸功能無法正常運作，連帶影響其他重要維生基礎設施（圖 3.4.11）。另外，省道或與地方政府管轄之聯絡道路失能之影響，由於涉及地方政府權限，應由中央主動加強與地方合作協調。

基此，對於跨運輸系統間及重要維生基礎設施聯外/聯絡道路的運輸連結性，實有必要加倍強化，以維持運輸系統的運輸能力。

承上，建議設施權責機關（構）彼此間之連結性加以強化：

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



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

圖 3.4.11 運輸系統介面受天氣事件衝擊示意圖

**調適實務案例：台 17 線林邊噶仔口橋積水道路封閉改走替代道路**

關於國 3 及快速公路交流道及其聯絡道路的運輸連結性探討，因豪雨造成台 17 線林邊鄉沿海路段強降雨導致區域排水宣洩不及，溢淹至路面而積水，台 17 線 261.4K-261.5K 因道路北上路面積水路面淹水 20 公分。且路面積水高度持續增加中，已影響車輛通行安全，因此實施道路封閉，改替代道路：台 17 線 (261.8K) 林邊交流道→大鵬灣環灣道路→台 17 線 (259.1K)。

公路總局第三區養護工程處已於現場配合屏東縣政府警察局東港分局佈設交維等警示設施並監視積水狀況，後續視積水減退狀況再行開放通行。



資料來源：[https://www.thb.gov.tw/sites/ch/modules/news/news\\_details?id=865e2ec4-69e3-46a0-83ee-8c92570852eb](https://www.thb.gov.tw/sites/ch/modules/news/news_details?id=865e2ec4-69e3-46a0-83ee-8c92570852eb)

圖 3.4.12 台 17 線林邊噶仔口橋路段淹水替代路線圖

## 調適實務案例：日本成田國際機場之跨運具連結性佳

日本成田國際機場為連結日本國內及國外大型都市之重要角色，重視其聯外交通系統。其目前聯外公共交通工具具有航空、鐵路、高速巴士及火車，與多項鐵路合作，包含 Skyliner、成田特快、Access 特急、JR 東日本線、都營淺草線等多條鐵路。為避免旅客誤乘，每項交通工具都有代表色，對於相鄰月台不同路線以顏色區分並透過柵欄區隔，藉此協助旅客辨識。



資料來源：交通運輸研究所，先進公共運輸系統跨運具無縫整合系統架構之研究，民國 103 年

圖 3.4.13 成田機場大廳設置鐵路、高速巴士等交通資訊之顯示器

## 3.4.2 策略二：強化預警應變力

### 1. 措施 2-1：建構跨運輸系統預警應變網絡

受天氣事件衝擊時的風險資訊傳遞方面，各單位多透過媒體發布預警訊息，部分單位則進一步利用資訊看版、行動 app、細胞廣播服務 (Cell Broadcast Service, CBS) 等傳遞訊息，期藉此提升預警速度。借鏡於國外案例與機關 (構) 之建議，未來也可思考共享系統間的預警資訊，以互享資源並達到資訊發佈的互通，例如國道的資訊看板可顯示省道的替代路線，達到互相支援的效果，爭取用路人應變的時間。另外，也可應用 App 結合導航，推播替代道路。

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

綜上，本項措施重點與建議執行單位簡要歸納如下：

(1) 設施權責機關（構）

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

**調適實務案例：中央氣象局應用氣象 APP 預警**

中央氣象局與不同領域結合後，將進一步帶來人性化及個人化的服務。目前氣象局與教育部共同合作推出校園氣象服務，提供全台五千多所學校之氣溫、降雨等多項天氣資訊、未來天氣預報、現在空氣品質和紫外線警示燈號以及未來變化趨勢，並主動推播地震及豪大雨之預警特報訊息。使用者可自行加入所關注的學校，獲得最新校園氣象資訊，為校園生活做最妥當的安排，同時可利用科普教育專區的連結，學習各種科學小知識。



資料來源：中央氣象局

圖 3.4.14 中央氣象局應用氣象 APP 預警說明圖

2. 措施 2-2：檢討並調整氣候變遷環境下之風險監測機制

風險監測為設施權責機關（構）確保設施狀態與道路正常營運之重要作為。對天氣事件及其所致傷害的應變有賴相關的氣象及環境資訊（如：河川水情、橋梁安全、坡地環境等）做為支持，而相關資訊的取得則賴監測設施的設置。根據訪談，各設施權責機關（構）目前均設有相關的監測設施，並

在未來會針對監測設備不足的路段加密 CCTV (如高公局、臺鐵局)。另外，國內外也積極發展物聯網，以提高風險監測的精度與回傳之速度，並可就回傳的監測資料預測需維護管理或應變行動的時間點，降低系統的脆弱度。

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

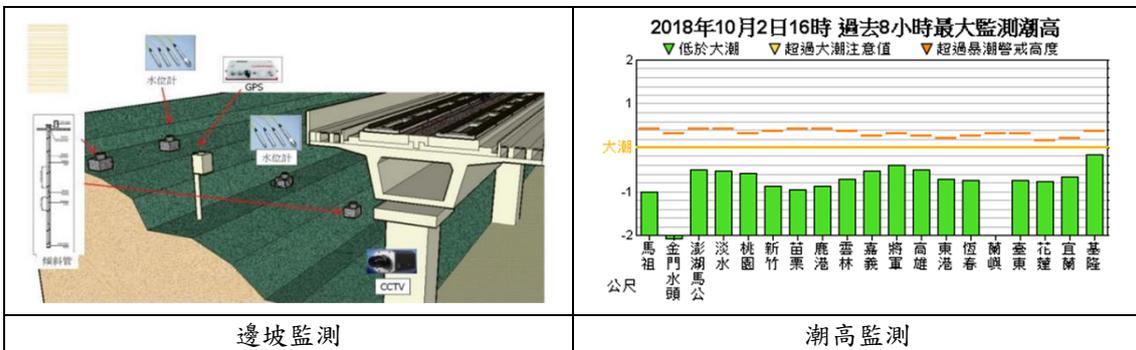
有鑑於在氣候變遷環境下，極端事件生成及帶來影響衝擊的頻率、強度與速度俱增，為能提升預警應變的能力與效率，建議應對既有的風險監測制度進行檢討並調整優化，並應用科技輔助監測，例如感應器結合 IoT 與 AI 即時計算，讓養護的人力分配更有效率。監測設施則應定期檢討及調整設置點位與數量，以因應環境的持續變動，並盡量提高即時監測的涵蓋面（圖 3.4.15）。

綜上，本項措施重點與建議執行單位簡要歸納如下：

(1) 設施權責機關（構）

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

(2) 氣象局加強相關氣象資訊之提供。



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

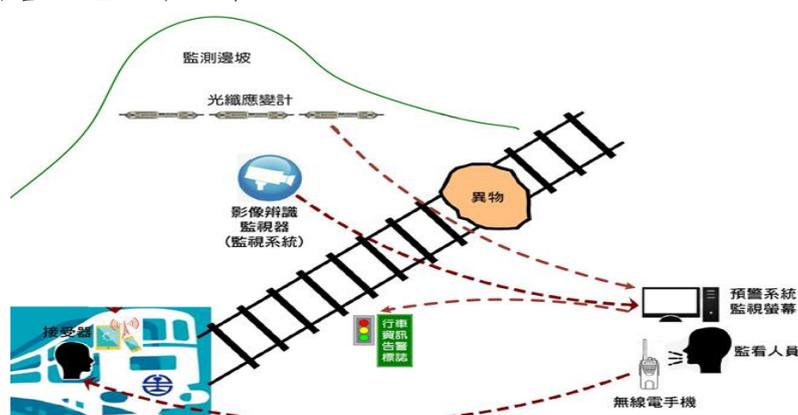
2.右圖：交通部中央氣象局網頁，民國107年。

圖 3.4.15 風險監測設備與資訊示意圖

### 調適實務案例：臺鐵邊坡自動化落石監測告警系統

為避免邊坡落石、土石滑落危及行車安全，臺鐵局「邊坡全生命週期維護管理計畫」，將建置邊坡自動化落石監測告警系統。針對易致災或脆弱路段辦理邊坡改善、加固工程；若受地形限制，無法採工程方式消弭致災原因，就要設置地工監測系統及影像監視預警系統，達到災害發生前的預警功能。

藉由人工智慧即時影像辨識系統，監控易致災或脆弱路段邊坡狀況，有異狀立即發出預警通知相關人員，同時配合警報系統啟動，事發地點距離 800 公尺、600 公尺、400 公尺、200 公尺處的警示燈號亮起，司機員看到警示燈及早煞車。



資料來源：臺鐵局

圖 3.4.16 臺鐵邊坡自動化落石監測告警系統說明圖

### 調適實務案例：台灣高鐵公司天然災害告警系統

高鐵沿線設有災害告警系統 (DWS)，沿線密集佈設各項偵測設備隨時偵測強風、豪雨、邊坡滑動、坍方、落石及洪水等狀況即時傳送警訊至列車及行控中心。民國 110 年 8 月 7 日苗栗通霄路段測得「入侵告警」訊號，「邊坡滑動偵測器」即時發揮預警作用因此列車在 17 公里前停住。高鐵「邊坡滑動偵測器」多設置在土堤或敏感地質旁，全台共有 67 處；另外「落石偵測」通常設在隧道口上方；「車輛等異物入侵」則共有 28 處。另外還有地震、強風、豪雨、洪水的偵測器，數量超過 300 個。



### 3.4.3 策略三：提高系統回復力

#### 1. 措施 3-1：建立分階段復建原則

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

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

受損範圍在難以確切掌握之情況下，復建對策應優先考慮避開。如無法避開或避開方案之工程費用太高而必須選擇原址重建時，後續則應透過既有資料蒐集、地質水文調查，監測等作為，研析衝擊原因與受損模式，再據以決定復建工法，並進行設計，以利長期之安全（圖 3.4.18）。

綜上，本項措施重點與建議執行單位簡要歸納如下：

(1) 交通部

- ① 依運輸系統設施地區回復程度建立分階段復建原則。
- ② 研議簡易修復相關規範。
- ③ 彙整國內各研發單位技術。

(2) 設施權責機關（構）蒐集資料掌握受損範圍回復狀態，決定復建期程與工法。



空載光達3D數值建模技術

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

圖 3.4.18 衝擊後勘查之科技示意圖

**調適實務案例：公路總局運用無人機進行巡檢及勘災作業**

公路總局 107 年利用空中航拍光達（Lidar）技術，於阿里山公路輔助公路養護巡檢工作。阿里山公路自觸口至自忠路段長約 60 公里，邊坡陡峭樹木茂密，無法僅用人力做公路巡檢工作，以空中航拍取得公路周邊影像數值資料，並可利用多時期空拍之數值資料分析，可長期分析變異性，做為監控邊坡及初步浮石與坡頂開發之巡檢。並可再透過無人空拍機（UAV）取得數值資料，進一步比對空中航拍資料，以找出變異點及可能致災成因，即可辦理緊急處置工作，以維護用路人安全。

在颱風豪雨發生道路阻斷災害時，應用自動導航無人空拍機（UAS），依預先規劃拍攝高程及飛航路線拍攝，即可於災後人員無法挺進勘災時，進行自動導航空拍道路災情，俾利後續調派搶救災人員機具，有效提升搶救災效率。



資料來源：中華民國交通部網站；交通部公路總局

圖 3.4.19 阿里山公路運用無人機進行巡檢及勘災作業

### 調適實務案例：南橫台 20 線勤和復興段分階段復建

台 20 線勤和復興段於莫拉克颱風及民國 101 年 610 水災期間，因豪雨產生複合型災害，致公路對岸布唐布納斯溪擴張，上游巨量土石形成土石流流入荖濃溪，淹沒公路及造成約 50 公尺的淤高，且形成堰塞湖，潰壩後常攻擊短期施作的公路便道路基。

就時間軸而言，分短期搶修供緊急維生通行，中期安全提升供基本維生通行，長期復建供恢復一般省道功能。因此，進入中期安全提升的設計標準，就是以勤和復興段，曾遭受過最大歷史災害—莫拉克風災引致對岸土石流形成堰塞湖情境，為設計承受容量極限。

110 年 8 月 6 日豪雨-西南氣流帶來巨大雨量，不僅布唐布納斯溪土石流再次淤高荖濃溪河床，更新增玉穗溪因擴張巨量土石產生土石流流入荖濃溪河床，兩相加成，形成災後，淤高 10 公尺且衝毀溪口中期便橋段，惟其餘橋梁段尚於設計容量內並無損壞。

就規劃設計考量而言，短期搶修是快速搶通、即壞即修。中期目標是提升通行可靠度，輕量縮短修復時間。因此明壩克露橋，設計原則以單柱式的樁構架設計，承受土石流攻擊，梁底高程以堰塞湖高程加 1m 出水高，橋面板以輕量型的鋼梁搭配單車道寬度橋面版，輕量設計，目的就是萬一遭洪水沖毀，可快速架梁修復通車。惟此次災害發生於莫拉克水災時也沒發生土石流的玉穗溪，兩條土石流同時加成堆積於勤和復興段，已大幅超過中期提升的設計容量。

就長期而言，在水文地質尚未穩定前不見得有路線方案，所以在面對極端災害的調適作為，不見得有長期方案，甚至中期方案也會因災害規模不斷擴大而重複致災。



## 2. 措施 3-2：建立運輸系統設施的內部與外部備援方案

為因應運輸服務受極端天氣事件侵襲而阻斷的狀況，個別運輸系統均應規劃系統內部與跨運輸系統的備援方案，舉例來說：公路系統應規劃其系統內的替代路線，另外也需考量跨運輸系統的備援方案，如以國道為例，當其系統內的替代路線無法作業時，需規劃以省道做為替代道路；鐵道則需規劃接駁運具，以利接駁至其他的運輸系統，此項工作除設施權責機關（構）外也涉及運輸業者（圖 3.4.21）。



資料來源：交通部、臺鐵局。

圖 3.4.21 鐵公路的跨運輸備援方案

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

另外，目前的道路阻斷資訊係透過警廣、機關（構）開發的 app 或是 CBS 與可變式告示牌做資料的傳遞，但許多時候無法涵蓋到所有民眾，建議可將道路阻斷的資訊與導航系統合作，以加強替代路線與替代運具等的資訊傳播。

未來在物聯網持續發展下，車輛間的資訊傳遞也可加強此資訊的傳播。

綜上，本項措施重點與建議執行單位簡要歸納如下：

(1) 設施權責機關（構）

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

### 3.4.4 策略四：增進決策支援力

#### 1. 措施 4-1：建立調適計畫投資決策評估方法

為能讓有限的預算做最有效的運用，交通建設計畫的投資均會利用財務評估或經濟效益分析的方式，來評判計畫是否值得投資，或據以排定推動優先順序。

然而，受到調適成本與效益估計不易等限制，目前我國的計畫審議決策過程大多未將調適成本納入考量，而調適計畫的效益亦尚未有明確的估算方法與標準可依循，致使調適計畫的必要性不易具體表述，計畫之間也無法比較效益。

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

綜上，本項措施重點與建議執行單位簡要歸納如下：

(1) 交通部

- ① 建立氣候變遷調適計畫成本效益評估方法並持續檢討與精進。
- ② 規範調適計畫於預算申請時需檢附計畫之成本效益評估做為佐證。

Project Information & Cost Estimate			
<input type="button" value="Save As New Project"/> <input type="button" value="Save Current Project"/> <input type="button" value="Print This Tab"/>		Click on a tab file to go directly to it: <input type="button" value="TAB 1 - Tool Information"/> <input type="button" value="TAB 2 - Project Information &amp; Cost Estimate"/> <input type="button" value="TAB 3 - Pre-Resiliency Damages"/> <input type="button" value="TAB 4 - Post-Resiliency Damages"/> <input type="button" value="TAB 5 - Analysis Results &amp; Qualitative Benefits"/>	
Section I - Applicant Information			
Applicant:			
Address Line 1:			
Address Line 2:			
City:		Select State:	Select State
Phone 1:	Ext:	Phone 2:	Ext:
Section II - Project Information			
Project Name:			
Application Date:		Analyst:	
Analysis Year:	2014	Analysis Date:	
Transit Mode(s) Protected by Project:	<input type="checkbox"/> Suburb/Inner City Rail <input type="checkbox"/> Light/Commuter Rail <input type="checkbox"/> Intercity Passenger Rail	<input type="checkbox"/> Bus <input type="checkbox"/> Ferry <input type="checkbox"/> Other	If Transit Mode is "Other," please specify:
Primary Hazard Protected by Project:	<input type="checkbox"/> Flood <input type="checkbox"/> Hurricane/Coastal Storm <input type="checkbox"/> Wind <input checked="" type="checkbox"/> Snow/Ice Storm		
Secondary Hazard(s) Protected by Project:	<input type="checkbox"/> Flood <input type="checkbox"/> Hurricane/Coastal Storm <input type="checkbox"/> Wind <input type="checkbox"/> Snow/Ice Storm		
Brief Project Description:			

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

圖 3.4.22 調適計畫成本效益評估輔助軟體示意圖

### 調適實務案例：義大利 Ancona 市的氣候變遷調適效益評估<sup>[38]</sup>

氣候變遷影響水文循環與相關的環境現象。在 1279 年至 2002 年間，義大利地區發生 4,521 件的重大氣候傷害事件，產生重大經濟與社會損失，每年遭受到土石流災害的人約有 13.8 名、而洪水災害則為 49.6 名。預期未來極端天氣事件發生頻率和強度可能增加的情況下，特別是地中海地區，如不採取預防措施，可能會導致經濟、環境和社會損害的增加。

為掌握氣候變遷的衝擊，針對土石流的風險進行評估，將 2011 年的土石流地點放入 2050—2100 年的氣候情境，評估崩塌風險。

風險評估結果顯示，未來可能受到崩塌影響的區域，由 21.6% 提升至 30.5%。在 2100 年最糟的預估情境下，居住在坡地不穩定地區的居民受土石流影響的風險比例從 10% 增加到 14%、鐵路受崩塌影響的總長度比例則從 12.3% 增加到 18.7%。

表 3.4-3 2100 年情境下受土石流影響的暴露項目表

暴露項目	總計	2011 年		2100 年 FLS A		2100 年 FLS B	
		受土石流影響	%	受土石流影響	%	受土石流影響	%
居民	102,926.00	10,301.00	10.0	11,513.00	11.2	15,333.00	14.9
軍營	14	3	21.4	3	21.4	3	21.4
育幼院	22	2	9.1	5	22.7	5	22.7
托兒所	32	1	3.1	6	18.8	7	21.9
小學	24	--	0.0	2	8.3	3	12.5
中學	12	--	0.0	--	0.0	1	8.3
高中	19	--	0.0	2	10.5	2	10.5
道路與鐵路	總計(km)	受土石流影響	%	受土石流影響	%	受土石流影響	%
鐵路	91,991.00	11,276.89	12.3	12,533.29	13.6	17,239.49	18.7
都會區	352,880.8	53,159.35	15.1	48,483.04	13.7	65,459.79	18.6
地方道路	504.3	372.1	73.8	380.09	75.4	436.76	86.6
非地方道路	121,618.50	19,063.90	15.7	20,952.01	17.2	27,899.68	22.9
私人道路	112,417.93	23,434.49	20.8	25,981.63	23.1	34,555.14	30.7
區域道路	38,554.70	43,49.54	11.3	4,785.87	12.4	6,264.61	16.2
ANAS 道路	27,355.00	5,648.92	20.7	6,051.17	22.1	7,111.71	26.0

在調適政策的研擬上，應用成本效益評估做為參考基礎，以受損地區之建物損失做為量化的評估基礎，如表 3.4-4。

表 3.4-4 因土石流受損的金額計算

Ancona 都會區面積：124.43 平方公里		
土地覆蓋	2100 情境下受土石流影響的面積	損失金額（歐元）
連續都市紋理	0.00	18,920,000
不連續都市紋理	2.40	19,213,039,792
工業或商業區	0.19	377,111,778
港區	0.07	131,520,000
總計	2.66	19,740,591,570
居民數量	位於風險地區的居民	%
102,926.00	15,333.00	15

將義大利 Ancona 市政府在沒有調適計畫情況下，不得不承擔的無作為成本，與降低崩塌風險的成本進行比較分析，不同方案的調適成本則以不同程度上去減少崩塌的工程施作費用估算。

表 3.4-5 調適方案成本

2100 年受土石流影響的都市土地	3.5km
最低調適方案成本（歐元）	254,000,000
最高調適方案成本（歐元）	315,000,000
平均調適成本（歐元）	280,000,000

經成本效益分析後可發現最高調適方案的成本僅佔無調適作為可能造成的損害的 1.6%，但可達到的傷害節省效益高，透過基礎的成本效益評估方法，可評估氣候變遷下，對管理的資產可能產生的預期損害成本，做為執行調適作為的基礎與參考依據。

## 2. 措施 4-2：建立調適計畫監控與滾動檢討機制

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

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

## 3. 措施 4-3：建置或應用風險管理與調適所需資料庫及工具

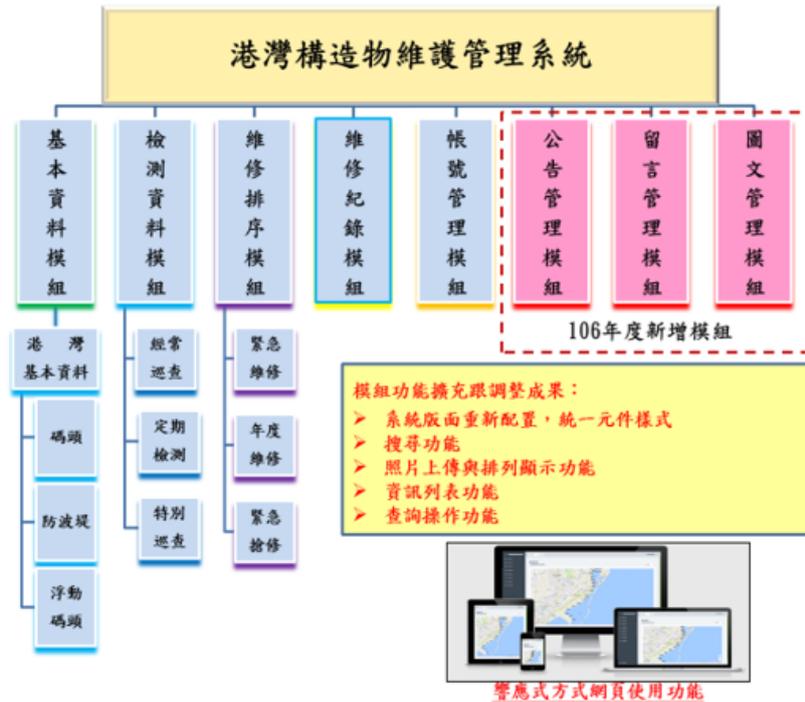
為能有效管理運輸系統設施於氣候變遷環境下的風險，除了需妥善管理設施並掌握其安全性外，更需藉由風險評估協助管理單位規劃調適計畫再利用計畫投資評估方法輔助決策計畫執行順序，而上述工作需要大量資料做為基礎。故建議各單位建置設施資料庫，包含規劃、設計、興建、維護管理等全生命週期各階段資訊，並納入風險管理基礎（圖 3.4.23）。



資料來源：公共工程委員會，政府採購權生命週期概論，民國 109 年；本計畫彙整。

圖 3.4.23 公共工程全生命週期

另外也開發管理系統，以提高管理效率，以「運輸設施生命週期管理」的預防式養護概念改變以往的「反應式」養護方式，將生命週期成本的管理流程納入預算的分配及維修計畫的研擬，讓運輸設施能身強體壯、延年益壽，以減少國家的財政負擔，並能在氣候變遷環境下維持基本功能，為國家社會提供更長遠的效益。對已完成設施資產管理系統開發的管理機關（構），如高公局、高鐵公司、公路總局等、港務公司等（圖 3.4.24），則持續優化系統。



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

圖 3.4.24 碼頭維護管理系統功能架構

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

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

(1) 基礎資料

- ① 氣候變遷情境與影響。
- ② 設施/設備的壽年。

(2) 成本項目

- ① 調適工程成本。
- ② 營運管理、折舊成本。
- ③ 其他成本。

(3) 效益項目

- ① 過往天氣事件造成的系統阻斷時間。
- ② 過往天氣事件造成的生命財產損失。
- ③ 過往天氣事件後的設施／設備修復方式與成本等。
- ④ 社會效益。

為提高計畫投資決策效率，建議開發計畫投資決策支援系統。

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

綜上，本項措施之重點與建議執行單位簡要歸納如下：

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

- ① 設施全生命週期管理資料庫（即風險為基礎的資產管理概念）。
- ② 風險評估指標資料庫。
- ③ 風險潛勢調查分析與情境模擬。
- ④ 計畫投資評估參數資料庫。

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

- ① 設施全生命週期管理系統。
- ② 設施風險評估資訊系統。
- ③ 氣候變遷調適計畫投資決策支援系統。

(3) 設施權責機關（構）開發有助研擬調適計畫的資料庫

- ① 調適方案/計畫、研究參考。
- ② 氣候與歷史衝擊數據。

### 調適實務案例：臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台

科技部（MOST）與國家災害防救科技中心（NCDR）合作建立之臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台（TCCIP）等網站可取得最新之氣候變遷情境推估資料。TCCIP 平台提供調適模擬器可針對不同調適方法修改所使用之荷蘭 WL|Delft Hydraulics 公司研發的 SOBEK 淹水模組，進行不同調適作為之淹水境況模擬，藉此了解在不同調適作為情況下，所達成之調適目標與效益。

資料來源：[https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ark\\_03.aspx](https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ark_03.aspx)

圖 3.4.25 TCCIP 調適知識平台與調適模擬器說明圖

#### 4. 措施 4-4：強化氣候調適跨域整合推動與機制

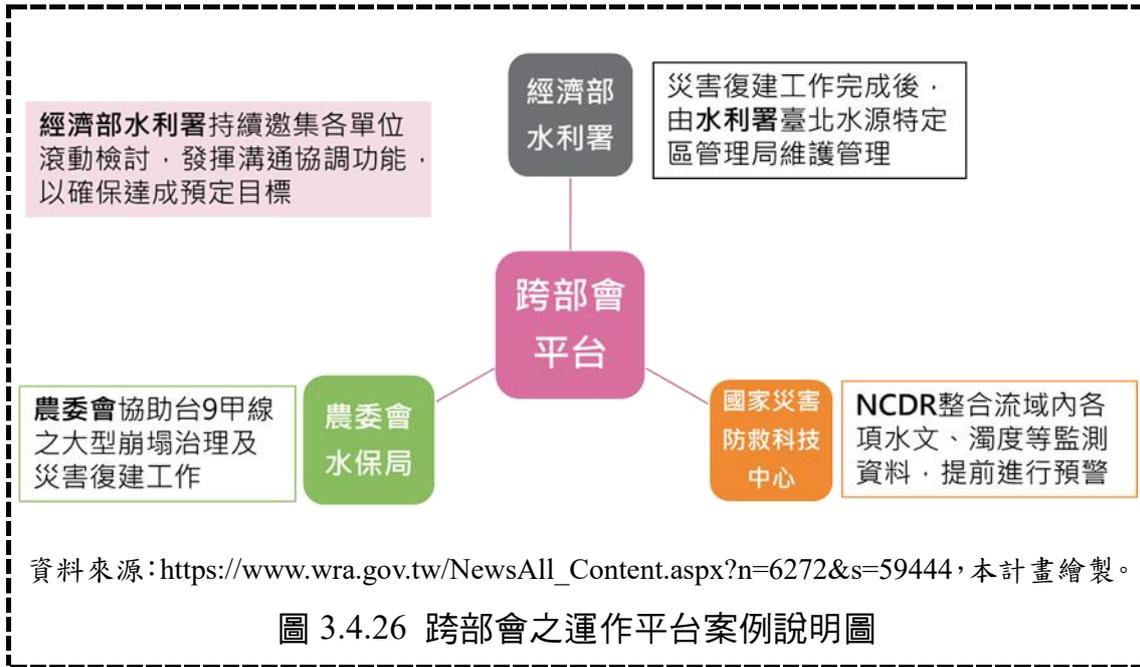
氣候變遷調適工作經常涉及不同運輸系統設施之間，甚至跨領域的溝通協調合作，例如：淹水或坡災成因往往不單純只肇因於設施本身，有時係與區域排水容量有關；河川橋梁沖刷問題則與河川之整治相關；部分大型邊坡坍滑問題之主要成因則與上方山坡地治理有關，而上述問題之權責單位至少涉及水利署、農委會、林務局、地方政府等，顯見運輸系統氣候變遷調適的推動與落實過程極需要跨域之間的整合與協力推動。

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

##### **調適實務案例：蘇迪勒颱風侵襲台 9 甲線烏來山區之災後處理模式**

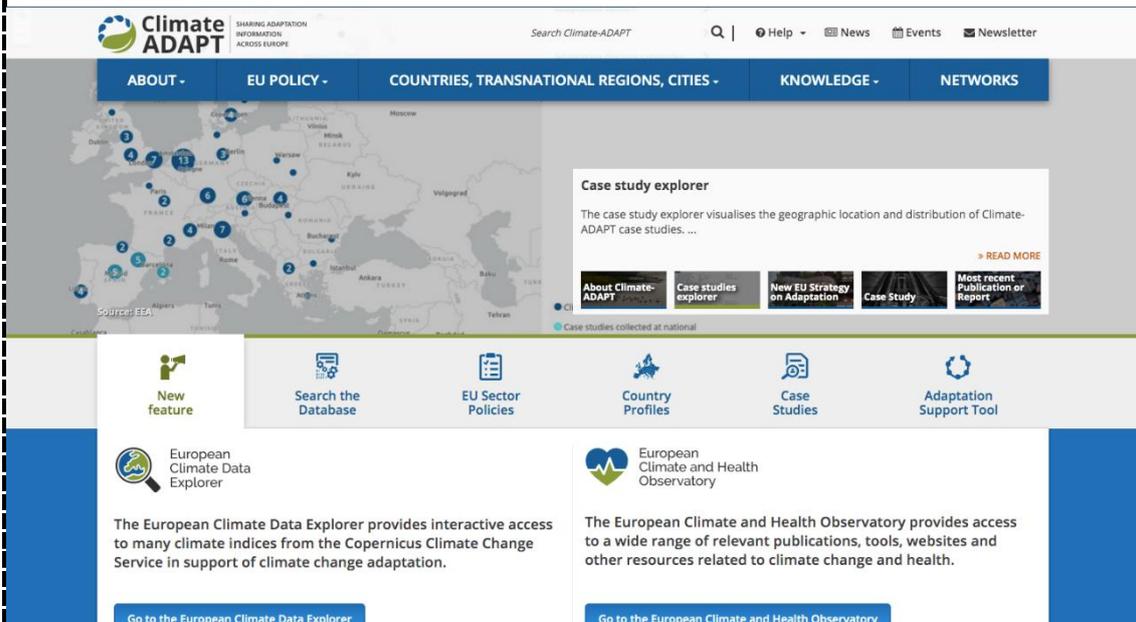
因應 104 年蘇迪勒颱風侵襲造成新店、烏來等地區之災害，並加速新店溪上游河川流域之保育治理，行政院 105 年 1 月核定成立「新店溪上游流域保育治理及區域穩定供水綱要計畫工作分組」，做為跨部會之運作平台。由經濟部水利署、農委會水保局、國家災害防救科技中心等目的事業主管機關共同合作，分工協力積極辦理各類復建工作。

由於新店溪上游土地使用情形複雜，故治理工作需統合相關目的事業主管機關（包括經濟部水利署、農委會水保局等），行政院核定之綱要計畫分為「建立流域災害監測預警系統」、「加速集水區保育治理與管理」、「加強河川規劃、治理與非工程措施」及「建構高濁度因應處理及備援能力」等四大區塊，包括相關部會之多項工作，透過「新店溪上游流域保育治理及區域穩定供水綱要計畫工作分組」，做為跨部會之運作平台，由經濟部水利署、農委會水保局、國家災害防救科技中心等共同合作，分工協力積極辦理各類復建工作。



### 實務案例：歐盟 Climate-Adapt 平台

歐盟 Climate-Adapt 平台提供數據彙整與分析，支持歐洲氣候調適決策，該平台彙整多項數據資料、調適案例與政策（農業、生物多樣性、海岸、林業、水資源管理、海洋與漁業、生態系統、災害、建築、能源、運輸、健康與都市等領域）、研究報告、調適指標與方案等，共享各國的資料與調適輔助工具。



資料來源：<https://climate-adapt.eea.europa.eu/>

圖 3.4.27 Climate-Adapt 平台首頁

## 5. 措施 4-5：培育氣候變遷風險管理與調適專業人才

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

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

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

綜上，本項措施之重點與建議執行單位簡要歸納如下：

### (1) 設施權責機關（構）

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

## 6. 措施 4-6：調適計畫與利害關係人溝通或合作

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

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

在利害關係人的溝通上，因民眾的背景多元，故需思考如何以科普且易懂的方式進行溝通，例如國外有以手機 app 遊戲模擬氣候變遷衝擊與調適作

為，做為與利害關係人溝通的媒體。另外一個案例則是由華盛頓特區的 50 萬人聯合發起的將地球日的活動數位化。為了吸引民眾的注意，與線上撲克牌接龍遊戲「Solitaire Grand Harvest」合作在地球日發送給線上的 200 萬個玩家氣候變遷資訊的特殊任務，旨在刺激玩家思考如何幫助環境，透過遊戲使人們看到生產、消費和浪費的影響。以更有趣的方式傳達嚴肅訊息。



資料來源：<https://ccafs.cgiar.org/news/stakeholders-come-together-nairobi-create-vibrant-platform-climate-smart-agriculture>、<https://ec.europa.eu/clima/citizens/youth/>

圖 3.4.28 利害關係人溝通與氣候變遷寓教於樂

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

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

綜上，本項措施之重點與建議執行單位簡要歸納如下：

(1) 設施權責機關(構)

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

### 3.5 運輸系統調適策略與措施綜理

檢討後之調適策略內容可供交通部依《溫管法》第 13 條第 1 項規定研提調適策略之參考。為便於參考，於本節彙整各策略之課題、措施、措施重點與執行單位、措施屬性（個別系統、跨系統、跨單位）以及期程等項目如表 3.5-1。

表 3.5-1 運輸系統氣候變遷調適策略與措施綜理表

策略	調適課題	措施	重點	屬性	期程
一、 提升 衝擊 耐力	提升運輸系統在氣候變遷下的衝擊耐力	1-1 建立設施安全性、與風險評估方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 設施權責機關 (構)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 建立設施安全性標準與評估方法並持續精進</li> <li>• 建立氣候變遷風險評估方法，訂定可承受之風險基準並持續精進</li> <li>• 定期或於重大天氣事件衝擊後評估設施安全性與風險等級</li> </ul> </li> </ul>	個別系統	持續性
		1-2 迴避高風險潛勢地區持續受損點位改、廢線	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 設施權責機關 (構)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 新建設施選址應考量氣候變遷情境並迴避高風險地區</li> <li>• 與環境部會考周邊環境關係，視情況運用以自然為本方案</li> <li>• 針對不適合回復原有功能的路段進行修養、改道、廢線等方案評估</li> </ul> </li> </ul>	個別系統	持續性
		1-3 檢討並將氣候調適概念納入規範或作業程序	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 設施權責機關 (構)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 檢討並提高設施抗氣候變遷環境標準</li> <li>• 將風險分析及氣候變遷模擬結果納入規劃、設計、施工及養護相關規範、作業流程或手冊中考量</li> </ul> </li> <li>■ 交通部訂定氣候衝擊影響評估的標準與應用之參數，並製作指導手冊，以利做為可行性評估與綜合規劃階段審查的標準</li> </ul>	個別系統	短、中期
		1-4 運用或研發新科技、材料、工程工法或設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 設施權責機關 (構)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 依氣候變遷情境所致風險之分析與模擬結果，並視資源與需要運用科技、材料、工程工法與設備提升設施耐力</li> <li>• 推動示範或先導計畫運用科技、材料、工程工法與設備並監測其於提升衝擊耐受力的成效</li> </ul> </li> <li>■ 交通部                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 彙整國內各研發單位技術並進行國外新技術的交流與移轉</li> </ul> </li> </ul>	個別系統	持續性
		1-5 強化跨運輸系統的運輸連結性	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 設施權責機關 (構) 彼此間之連結性加以強化：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 國道及快速公路外連道路</li> <li>• 鐵路車站聯外道路</li> <li>• 機場及港口聯外道路</li> <li>• 重大儲油、儲氣、儲水、儲電設施聯外道路</li> </ul> </li> </ul>	跨系統	持續性

表 3.5-1 運輸系統氣候變遷調適策略與措施綜理表 (續)

策略	調適課題	措施	重點	屬性	期程
二、 強化預警 應變力	強化運輸系統間的 應變與支援速度	2-1 建構跨運輸系統預警應變 網絡	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 設施權責機關 (構)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 彙整國內外各研發單位技術</li> <li>• 共享資訊，以加強應變與橫向聯防</li> <li>• 利用免費社群網路做資訊傳遞</li> <li>• 進行天氣事件衝擊機</li> </ul> </li> <li>■ 設施權責機關 (構)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 檢討及調整監測設施的設置點位與密度</li> <li>• 加強即時監測的涵蓋面</li> <li>• 思考應用微型氣象站蒐集之小尺度資訊結合氣候局大尺度資料做數據之微調，以利更完善掌握設施周邊之氣候狀態</li> </ul> </li> <li>■ 氣象局                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 加強相關氣象資訊之提供</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 個別系統</li> <li>■ 跨系統</li> <li>■ 跨單位</li> </ul>	短期
	確切掌握極端天氣 事件的衝擊程度	2-2 檢討並調整氣候變遷環境 下之風險監測機制	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 設施權責機關 (構)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 依運輸系統設施地區回復程度建立分階段復建原則</li> <li>• 掌握受損範圍回復狀態，透過資料之蒐集，決定復建期程與工法</li> </ul> </li> <li>■ 交通部                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 交通簡易修復相關規範</li> <li>• 交通部彙整國內各研發單位技術</li> </ul> </li> <li>■ 設施權責機關 (構)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 研議運輸系統內部備援體系與運作機制與外部跨運輸備援體系與運作機制</li> <li>• 與運輸業者規劃系統內部及外部跨系統的備援設施、替代路線、替代運具以及接駁運具等</li> <li>• 強化道路阻斷資訊與替代路線的資訊傳遞</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 個別系統</li> <li>■ 跨系統</li> <li>■ 跨單位</li> </ul>	短、中、 長期
三、 提高系統 回復力	確保設施回復能力	3-1 建立分階段復建原則	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 設施權責機關 (構)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 依運輸系統設施地區回復程度建立分階段復建原則</li> <li>• 掌握受損範圍回復狀態，透過資料之蒐集，決定復建期程與工法</li> </ul> </li> <li>■ 交通部                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 交通簡易修復相關規範</li> <li>• 交通部彙整國內各研發單位技術</li> </ul> </li> <li>■ 設施權責機關 (構)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 研議運輸系統內部備援體系與運作機制與外部跨運輸備援體系與運作機制</li> <li>• 與運輸業者規劃系統內部及外部跨系統的備援設施、替代路線、替代運具以及接駁運具等</li> <li>• 強化道路阻斷資訊與替代路線的資訊傳遞</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 個別系統</li> </ul>	中、長期
	維持系統受天氣事件 衝擊時正常營運	3-2 建立運輸系統設施的內部 與外部備援方案	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 設施權責機關 (構)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 研議運輸系統內部備援體系與運作機制與外部跨運輸備援體系與運作機制</li> <li>• 與運輸業者規劃系統內部及外部跨系統的備援設施、替代路線、替代運具以及接駁運具等</li> <li>• 強化道路阻斷資訊與替代路線的資訊傳遞</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 個別系統</li> <li>■ 跨系統</li> <li>■ 跨單位</li> </ul>	短期

表 3.5-1 運輸系統氣候變遷調適策略與措施綜理表 (續)

策略	調適課題	措施	重點	屬性	期程
四、 增進決策 支援力	決策調適計畫優先性並達到預期成果	4-1 建立調適計畫投資決策評估方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 交通部                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 建立氣候變遷調適計畫成本效益評估方法並持續精進</li> <li>• 規範調適計畫於預算申請時檢附計畫成本效益評估佐證</li> </ul> </li> </ul>	個別系統	短期
	評估調適計畫成效	4-2 建立調適計畫監控與滾動檢討機制	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 設施權責機關 (構)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 建立調適計畫管理、監測與學習機制</li> </ul> </li> </ul>	個別系統	短期
	支援風險評估及計畫投資決策所需資料	4-3 建置或應用風險管理與調適所需資料庫及工具	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 設施權責機關 (構) 建置風險管理資料庫，以 TGOS 共享                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 設施全生命週期管理資料庫</li> <li>• 風險評估指標資料庫</li> <li>• 風險潛勢調查分析與情境模擬</li> <li>• 計畫投資評估參數資料庫</li> </ul> </li> <li>■ 設施權責機關 (構) 建置有助提升風險管理效率支援系統工具                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 設施全生命週期管理系統並持續優化</li> <li>• 設施風險評估資訊系統並持續優化</li> <li>• 氣候變遷調適計畫投資決策支援系統並持續優化</li> </ul> </li> <li>■ 設施權責機關 (構) 開發有助研擬調適計畫的資料庫                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 調適方案/計畫、研究參考</li> <li>• 氣候與歷史衝擊數據</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 個別系統</li> <li>■ 跨單位</li> </ul>	持續性
	強化跨域協調與跨單位合作	4-4 強化氣候調適跨域整合推動與機制	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 交通部                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 推動運輸系統氣候變遷調適整合推動平台與機制，鼓勵資料共享</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 跨系統</li> <li>■ 跨單位</li> </ul>	中期

表 3.5-1 運輸系統氣候變遷調適策略與措施綜理表 (續)

策略	調適課題	措施	重點	屬性	期程
四、 增進決策 支援力	培育調適專業人才	4-5 培育氣候變遷風險管理與調適專業人才	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 設施權責機關 (構)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 辦理運輸系統氣候變遷調適議題國內與國際研討</li> <li>• 建立氣候變遷調適人才培訓制度 (可分階段培訓)</li> <li>• 視需要成立氣候變遷調適專責單位</li> </ul> </li> <li>■ 設施權責機關 (構)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 辨識利害關係人並建立雙向風險溝通與資訊教育之機制</li> <li>• 建立利害關係人可合作調適計畫的不同機制</li> </ul> </li> </ul>	個別系統	短、中期
	強化跨域協調與跨單位合作	4-6 調適計畫與利害關係人溝通或合作		個別系統	短、中期

資料來源：本計畫整理。

註：短期為 1-2 年、中期為 3-5 年、長期為 6-10 年。



## 第四章 運輸系統調適行動計畫強化方向建議

本章彙整及檢討我國現有運輸系統調適行動計畫，並依據國內外調適計畫研擬相關指導原則，提出各運輸系統設施權責機關（構）研提新一期調適行動方案（112—116年）時可強化之方向建議。

本章架構如下：4.1節彙整分析我國運輸系統現有調適行動計畫，4.2節提出下一期運輸系統調適行動計畫可強化之方向建議。

### 4.1 我國運輸系統調適行動計畫之彙整分析

#### 4.1.1 公路系統

依循環保署研擬的《氣候變遷行動綱領》目標，公路系統調適目標以「加強災害風險評估」及「提升維生基礎設施韌性」為核心，公路系統設施權責機關於107—111年持續辦理氣候變遷下之公路基礎設施強化、先期預警與防救災等行動計畫，共計6項（高速公路局2項、公路總局4項）<sup>[39]</sup>。

公路系統設施權責機關調適計畫重點包括加強氣候變遷風險治理，持續強化預警與應變作為，提升運輸、通訊及資訊系統等設施因應氣候變遷之調適能力，參見表4.1-1。

表 4.1-1 公路系統調適行動計畫

計畫名稱	重要工作	預期成果	推動情形	期程
中沙大橋耐洪與耐震能力提升改善工程 (高公局)	依據河川沖刷資料，研擬適當橋墩基礎降底工法，進行橋墩柱P11~P50改善作業	<ul style="list-style-type: none"><li>以橋墩基礎降底工法改善橋墩及基礎結構，有效提升中沙大橋耐洪能力</li><li>減少固床工維護需求，降低日後維護管理成本及費用</li></ul>	橋梁耐震評估，進行橋基改建或加固補強。解決中沙大橋河道區橋墩基礎裸露之問題，確保橋梁結構安全	108-111
高速公路天候偵測系統 (高公局)	中央氣象局評估與建置天候偵測器之設置點位，蒐集天候資料進行分析與處理，提供做為本局交通管理決策參考	建置高速公路天候偵測器，蒐集天候資料做為交通管理決策及行車預警	陸續完成區域性天候偵測器（自動氣象站）建置，落實高公局與氣象局跨部門整合工作	107-110

表 4.1-1 公路系統調適行動計畫(續)

計畫名稱	重要工作	預期成果	推動情形	期程
「台 20 線桃園勤和至復興路及台 29 線那瑪夏至五里埔路段水文地質穩定性評估」長期穩定性評估補充滾動調查 (公路總局)	辦理衛星影像及正射航照影像處理、水文及崩塌區判釋等河道斷面測量工作，並分析水文地質穩定性變化情形	分析計畫內水文地質變化情形，做為後續長期復建可行性評估啟動時機之評判依據	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 滾動調查、評估台 20 線桃源勤和至復興路段及台 29 線那瑪夏至五里埔路段水文地質穩定性，俟該區域達到相對穩定之狀態，再行研議辦理後續長期復建可行性評估等相關作業</li> <li>▪ 透過崩塌地及河道沖淤變化，評估台 29 線與台 20 線路段之安定期</li> <li>▪ 除台 29 線之河床穩定性評估已恢復至莫拉克風災前之狀態外，台 20 線之崩塌地、河床穩定性以及台 29 線崩塌地穩定皆尚未達到安定期</li> </ul>	107-109
中橫公路上谷關至德基段地貌變異分析及安全與可行性評估、探討服務工作 (第二期) (公路總局)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 中橫便道上、下邊坡穩定評估及探討</li> <li>▪ 資料蒐集與維護及相關空間資料建置</li> <li>▪ 衛星影像處理、崩塌判釋與雲端平台發布</li> <li>▪ UAV 產製數值地形及相關分析工作</li> <li>▪ 數值高程地形變異分析</li> <li>▪ 雨量計資料蒐集及分析</li> <li>▪ 上線搶通可行性評估工作</li> <li>▪ 中橫便道開放乙類大客車或其他客運車種通行方案之評估工作</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 完成運輸部門氣候變遷調適策略之滾動檢討</li> <li>▪ 加強設施權責機關對調適之認知與調適資訊之應用</li> <li>▪ 設施權責機關依據檢討之調適策略精進其調適行動計畫</li> </ul>	藉由資料蒐集分析、福衛二號影像處理與判釋分析、安全與可行性評估、全線踏勘及檢視等項目完成辦理中橫公路上谷關至德基路段變異分析及評估	107-109

表 4.1-1 公路系統調適行動計畫(續)

計畫名稱	重要工作	預期成果	推動情形	期程
公路防救災資訊系統建置及精進 (公路總局)	除持續維護「公路防救災資訊系統」，外，為減少民眾生命財產損失，發展「管制路段整合災情暨預警性封路圖像系統開發」、「防救災動員能量整合開發」、「隧道防災設施管理系統」、「控資料運用於防災模組」	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 於豪雨能自動通報或顯示監控資訊，供防救災人員掌握</li> <li>▪ 公路防災智慧化，以快速查報零星落石災情，並介接當地降雨資訊，俾供預警作業</li> <li>▪ 提供圖像顯示資訊之一致性</li> <li>▪ 整合各項防救災動員機具資訊</li> </ul>	「台9線蘇花公路改善計畫」於109年通車後，已提升其公路抗災能力，另新舊線間亦可互備援為其替代道路，使之提昇為台灣北東間之重要維生路廊，後續並於蘇花公路舊線辦理智慧防災計畫(台9丁線蘇澳至東澳路段)，以智慧化技術應用、防災管理等面向推動執行，完成下列4項工作： <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 建置風險預警推播系統</li> <li>▪ 建置路側風險資訊顯示系統</li> <li>▪ 落石告警資訊系統運轉工作</li> <li>▪ 建置受困車輛偵測系統</li> </ul>	107-109
省道改善計畫-公路防避災改善 (公路總局)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 防避災工程(21項)：包含邊坡保護工法、明隧道、隧道興建或公路改線等</li> <li>▪ 防災管理(16處)：包含設置傾斜觀測管、地下水位計、水壓計、雨量計等裝置，以辦理地滑監測及預警</li> <li>▪ 智慧化技術應用：辦理科技應用推廣研究，包含光達測量、UAV 航拍監測、水壓計結合雨量監測、落石告警系統等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 逐步提升公路行車安全度及可靠度，減少天然災害造成損壞，並維持公路緊急疏運之任務，且將提高省道服務水準及公路之暢通，連結區域間行車及提升經濟活動效益</li> <li>▪ 18處邊坡等級調整、8處間弄路段等級或監控範圍調整</li> <li>▪ 年節省 3.51 億元復建經費</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 針對轄管易致災路段，經滾動檢討，預計辦理 26 項智慧化技術應用，目前完成 10 項</li> <li>▪ 針對轄管易致災路段，經滾動檢討，預計辦理 87 項個案計畫，以提升省道公路抗災能力，目前已完成 14 項防避災工程，7 項防災管理，10 項智慧化技術應用</li> </ul>	108-113

資料來源：國家氣候變遷調適行動方案(107-111年)執行成果-維生基礎設施領域成果報告(109年)，本計畫訪談與彙整。

## 4.1.2 鐵路系統

鐵路調適行動計畫共計 6 項（臺鐵局 1 項，鐵道局 2 項、高鐵局 3 項）。重點包括建立邊坡安全評估與管理機制、加強氣候變遷災害風險管理，持續強化設施調適能力，以及預警與應變作為，以增加鐵路設施因應氣候變遷之調適能力，參見表 4.1-2。

表 4.1-2 鐵路系統調適行動計畫

計畫名稱	重要工作	預期成果	推動情形	期程
鐵路行車安全改善六年計畫－邊坡全生命週期維護管理(委託制度訂定技術服務)(臺鐵局)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 建立邊坡分級及安全性評估機制</li> <li>▪ 鐵路邊坡養護手冊訂定</li> <li>▪ 「鐵路邊坡全生命週期維護管理系統」規劃</li> <li>▪ 規劃預警系統及防災應變決策機制</li> <li>▪ 邊坡全生命週期設計及統包案有關制度面協助諮詢及部分審查</li> <li>▪ 臺鐵局相關規章檢討修訂</li> <li>▪ 教育訓練</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 完成鐵路邊坡分級與安全評估</li> <li>▪ 制定鐵路邊坡養護手冊</li> <li>▪ 建置鐵路邊坡全生命週期維護管理系統</li> <li>▪ 制定預警系統及防災應變決策機制</li> <li>▪ 檢討修訂之臺鐵局相關規章</li> <li>▪ 辦理教育訓練 2 場及成果發表 1 場</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 訂定「鐵路邊坡養護手冊」(草案)</li> <li>▪ 提出與時俱進之邊坡維護管理相關規範或作業流程</li> <li>▪ 藉由積極之主動式維護，以降低邊坡災害之損失</li> <li>▪ 藉由系統資料分析，獲得最佳維護時程，以降低各設施之生命週期成本</li> <li>▪ 規劃「鐵路邊坡維護管理系統」，彙整各階段作業資料，及結合多元異常通報、即時資訊套疊，做為後續防災應變決策之參考依據</li> <li>▪ 規劃邊坡告警系統，於邊坡災害發生時即時發出告警訊息，以降低邊坡危害度</li> <li>▪ 規劃邊坡維護管理執行人員資格及應接受之教育訓練課程，以提昇相關作業執行成果之標準化與一致性</li> <li>▪ 辦理教育訓練，說明邊坡維護管理各階段作業</li> <li>▪ 規劃災路邊坡監測預警/告警系統，藉由多元通報機制，主動提醒相關人員邊坡可能發生之危害</li> </ul>	107-111

表 4.1-2 鐵路系統調適行動計畫(續)

計畫名稱	重要工作	預期成果	推動情形	期程
			<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 規劃邊坡維護管理系統，藉由高科技資訊系統協助相關人員進行維護管理</li> <li>▪ 藉由巡查、檢測、監測等作業成果，篩選出邊坡災害高風險路段</li> <li>▪ 針對邊坡災害高風險路段，提出監測預警/告警系統設置</li> </ul>	
萬里溪鐵路橋梁延長工程 (鐵道局)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 既有鐵路橋梁安全檢測及補強</li> <li>▪ 既有河川水理分析及橋梁延長改善檢討</li> <li>▪ 既有鐵路橋梁延長工程</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 橋梁延長後，可提高橋址通洪斷面、提升橋梁耐洪能力，因應極端氣候變化</li> <li>▪ 鐵路橋梁延長及增加萬里溪堤防復舊範圍後，可因應極端氣候變化，改善現況河道束縮情形，避免南岸堤防沖刷，提高橋址通洪斷面，提升橋梁耐洪能力，確保鐵路行車安全</li> </ul>	完成西正線橋梁延長工程，營運軌道切換後，賡續辦理東正線橋梁延長工程，以提高東部幹線鐵路耐候性能	108-110
枋野一號鐵道橋安全檢測、評估及補強 (鐵道局)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 資料蒐集、整理研析，現場目視檢測與相關試驗</li> <li>▪ 安全分析與評估，含承載能力、耐震能力，耐沖刷能力及耐久性研判等之數值分析及整體性安全綜合評估及維修補強方案建議</li> <li>▪ 維修補強施工</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 提升橋梁耐震、承載力、耐洪及基礎耐沖刷之能力</li> <li>▪ 提升列車行車安全</li> </ul>	完成枋野一號鐵道橋安全檢測、評估及補強，提高南迴線鐵路耐候性能	107-108
強化隧道洞口邊坡之防護工程 (高鐵公司)	加強新竹、苗栗路段高鐵隧道洞口邊坡之巡檢與防護工程	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 降低受暴雨影響而發生邊坡坍滑觸動災害告警系統，避免營運中斷</li> <li>▪ 強化新竹、苗栗路段隧道洞口邊坡安全</li> </ul>	辦理2處隧道洞口邊坡(寶山一甲隧道北、南口邊坡)預防性維護工程	108-111
高鐵河川橋沖刷風險評估及防護設計 (高鐵公司)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 高鐵河川橋沖刷風險評估</li> <li>▪ 高鐵河川橋沖刷防護設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 年度高鐵河川橋沖刷風險分級</li> <li>▪ 年度高鐵河川橋沖刷防護建議</li> <li>▪ 年度高鐵河川橋沖刷防護設計</li> </ul>	完成筏子溪橋、八掌溪橋、北港溪橋之沖刷防護建議與設計文件	107-111

資料來源：國家氣候變遷調適行動方案(107-111年)執行成果-維生基礎設施領域成果報告(109年)，本計畫訪談與彙整。

### 4.1.3 空運系統

為提升空運系統因應強降雨加劇與海岸侵蝕等氣候變遷衝擊之調適能力，提升系統設施韌性，研擬共計 2 項調適行動方案（民航局 1 項，桃機公司 1 項）。重點包括加強氣候變遷災害風險治理，提升機場設施之調適能力，以提升陸側與空側設施因應氣候變遷之調適能力，參見表 4.1-3。

表 4.1-3 空運系統調適行動計畫

計畫名稱	重要工作	預期成果	推動情形	期程
金門尚義機場海側護岸堤防設施工程 (民航局)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 興建 1,868 公尺護岸堤防設施</li> <li>▪ 整地工程</li> <li>▪ 排水工程</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 施作永久性之護岸堤防設施及機場界圍，以保護機場跑道地帶之安全</li> <li>▪ 防止海岸線後退</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 完成機場海岸線堤防設施共 1,868 公尺，保護跑道飛航安全</li> <li>▪ 完成海側護岸之健全，用以保護機場跑道地帶不受大浪越堤之侵襲，並於 50 年迴歸期波浪條件下，溢流量不超過容許溢流量標準，可增進機場設施安全性及延長機場使用年</li> <li>▪ 金門機場為處海灣，近年來遭颱風大浪侵蝕，國土已內縮數十公尺，且大陸抽砂船非法越界至金門海域盜採海砂，造成砂源減少，亦影響金門海域生態及海岸地貌。本計畫海側護岸可保護機場跑道地帶不受侵蝕</li> </ul>	107-108
臺灣桃園國際機場第三跑道綜合規劃 (桃機公司)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 第三跑道週邊地區之地形測量與地質鑽探試驗分析</li> <li>▪ 第三跑道及滑行道規劃設計作業</li> <li>▪ 機場周圍地區氣象、地象等資料蒐集分析</li> <li>▪ 評估規劃跑道及排水等配置</li> <li>▪ 極端氣候因應策略</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 辦理第三跑道週邊一定範圍內之地形測量與地質鑽探作業</li> <li>▪ 研擬第三跑道規劃設計作業，進行建設配置，估算建設經費</li> <li>▪ 確保跑道及銜接滑行道運作之穩定性，避免暴雨洪汛造成淹水導致機場設施損壞或營運中斷</li> </ul>	第三跑道環境影響評估報告書已於 109 年 5 月 8 日獲環保署認可，將依環評結果持續推動後續工作	107-110

資料來源：國家氣候變遷調適行動方案（107—111 年）執行成果-維生基礎設施領域成果報告（109 年），本計畫訪談與彙整。

## 4.1.4 海運系統

海運系統以「風險評估」及「辦理教育、訓練與宣導」為基本原則，「加強災害風險評估與治理」及「提升維生基礎設施韌性」為政策內涵，規劃辦理調適行動方案，共計 3 項（港務公司 3 項），提出其重點包括利用資訊系統監控目前碼頭的維護情形、強化及改建現有碼頭，以提升碼頭之韌性和承載力等方向研擬相關因應措施，並整合各方資源，訓練相關人才培育及檢測，達到「提升維生基礎設施韌性，以確保港灣結構安全」之調適目標，參見表 4.1-4。

表 4.1-4 海運系統調適行動計畫

計畫名稱	重要工作	預期成果	推動情形	期程
既有碼頭檢測及改建評估計畫(含老舊碼頭改建工程) (港務公司)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 碼頭檢測規劃：目前辦理臺中港、高雄港及蘇澳港碼頭構造物及水下調查與防蝕效能檢測等安全評估檢測作業，並持續辦理所轄國際商港及國內商港碼頭檢測評估等規劃</li> <li>▪ 碼頭新改建：辦理所轄商港與其附屬港碼頭及周邊設施新、改建及整修等相關工程</li> </ul>	強化碼頭設施之結構安全性，提升面臨氣候變遷之調適能力	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 維持海堤、碼頭之功能</li> <li>▪ 提供港務公司辦理碼頭等公共設施維護管理參考應用</li> </ul>	107-111
維生碼頭規劃可行性評估(含維生碼頭改建工程) (港務公司)	完成維生碼頭規劃可行性研究，及臺中港 5A、5B、106 號碼頭(重件碼頭)、臺北港 S09 碼頭(重件碼頭)、高雄港洲際貨櫃中心第二期工程計畫(S04、S05 碼頭)等維生碼頭之新(改)建工程，及各港排水加強工程	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 完成重件碼頭(承載力較高)興建</li> <li>▪ 強化碼頭高程、排水、附屬設施等基礎建設</li> <li>▪ 完成維生碼頭規劃可行性評估</li> <li>▪ 提升碼頭維生基礎設施韌性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 完成商港重件碼頭(承載力較高)興建</li> <li>▪ 加強商港碼頭高程、排水、附屬設施等基礎建設</li> </ul>	107-110

表 4.1-4 海運系統調適行動計畫(續)

計畫名稱	重要工作	預期成果	推動情形	期程
各國際及國內商港港灣構造物維護管理計畫 (港務公司)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 建置港灣構造物維護管理系統</li> <li>▪ 執行港灣構造物現況調查</li> <li>▪ 依據調查結果制訂各港維護管理手冊</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 完成港灣構造物維護管理系統及其相關資訊共享</li> <li>▪ 港灣工程基本資料庫及查詢系統，做為港灣規劃工程設計及施工參考應用</li> <li>▪ 提高國內港灣設施之管理效率及有效運用資源，降低使用及維修成本，確保結構穩定性與安全性，並延長結構使用年限，提升港口服務水準及防災能力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 巡檢作業可全面資訊化電子化，存檔紀錄可供後續追蹤</li> <li>▪ 提高國內港灣設施管理效率及有效運用資源，降低使用及維修成本，確保結構穩定性與安全性，提升港口服務水準及防災能力</li> <li>▪ 建置港灣工程基本資料庫及查詢系統，巡檢維護經驗回饋設計單位，可供港灣工程規劃、設計及施工之參考與應用</li> </ul>	107-110

資料來源：國家氣候變遷調適行動方案（107-111 年）執行成果-維生基礎設施領域成果報告（109 年）、本計畫訪談與彙整。

#### 4.1.5 綜合檢討分析

綜理 107—111 年各運輸系統設施權責機關（構）提出調適行動計畫之重點方向及特性如下：

##### 1. 針對歷史或現況災害之設施因應與防護能力強化作為

部分調適行動計畫依據歷史河川沖刷資料與水理分析進行設施強化，提升耐洪水與耐沖刷的能力，如高公局提出之「中沙大橋耐洪與耐震能力提升改善工程」、鐵道局提出之「萬里溪鐵路橋梁延長工程」、「枋野一號鐵道橋安全檢測、評估及補強」、高鐵公司提出之「高鐵河川橋沖刷風險評估及防護設計」皆著重此項目；或易受暴雨影響而發生邊坡坍塌區域之防護工程或評估分析，如高鐵公司提出之「強化隧道洞口邊坡之防護工程」與公路總局提出之「中橫公路上谷關至德基段地貌變異分析及安全與可行性評估、探討服務工作（第二期）」。

##### 2. 聚焦於防避災措施與防救災系統建置

部分調適行動計畫聚焦防避災措施或防救災系統建置，利用管理手段方式應對，譬如安排保全在現場駐守，可引導車流，並封鎖危險區域等管理措施，公路總局提出之「省道改善計畫-公路防避災改善」與「公路防救災資訊

系統建置及精進」皆偏重於災害處置配套計畫。

### 3. 善用資通訊科技導入天候、邊坡安全等智慧偵測與預警系統

部分調適行動計畫為導入天候偵測系統、邊坡偵測等基礎資訊蒐集與預警作為，建立基礎資料之蒐集能力，並增強預警作為，並聘請氣象顧問透過監控天氣雷達做出預測示警，如高公局提出之「高速公路天候偵測系統」、臺鐵局提出之「鐵路行車安全改善六年計畫-邊坡全生命週期維護管理（委託制度訂定技術服務）」、高鐵公司提出之「建置邊坡安全預警系統」、公路總局提出之「省道改善計畫-公路防避災改善」皆為此類型之調適行動計畫。

### 4. 著手進行地貌分析、水文評估等基礎環境資訊評估與分析

部分調適行動計畫為地貌分析、水文評估等環境資訊評估與分析，屬於基礎環境資料蒐集階段之計畫，如公路總局提出之「中橫公路上谷關至德基段地貌變異分析及安全與可行性評估、探討服務工作（第二期）」與「台 20 線桃園勤和至復興路及台 29 線那瑪夏至五里埔路段水文地質穩定性評估長期穩定性評估補充滾動調查」皆為此類型之調適行動計畫。

由於環保署於 109 年 9 月 24 日與 9 月 29 日召開「國家氣候變遷調適成果報告座談會」，會議中揭示氣候變遷調適行動計畫應具有以下 3 項特性，說明調適與防救災之基本內涵有所不同：

- 1 建構在風險評估及風險管理架構之下，因應氣候變遷所增加的風險而採取的因應作為，並持續追蹤調適的成效。
- 2 長期以來持續進行的工作或日常養護作業（如例行性的監控與補強汰換工作），若非因應氣候變遷的影響而新增者，即不屬於「氣候變遷調適」行動計畫。
- 3 面對「『氣候變化』本身正在變化」，因應此種現象或趨勢所進行的策略與行動。

經進一步檢視上述運輸系統調適行動計畫之內容，發現各項調適行動計畫普遍存在以下共通性問題，建議各運輸系統設施權責機關（構）於研議下一期行動計畫時可考量予以補強或改善：

### 1. 氣候變遷衝擊說明較少

除少數調適行動計畫於計畫內容提及強降雨之氣候壓力因素外，如高鐵公司提出之「強化隧道洞口邊坡之防護工程」與「建置邊坡安全預警系統」等，多數調適行動計畫對於氣候變遷衝擊之說明著墨較少或是較無相關性。

### 2. 提及非屬氣候變遷衝擊之災害事件

少數調適行動計畫提及如地震災害等非屬氣候變遷衝擊之災害事件，如高公局提出之「中沙大橋耐洪與耐震能力提升改善工程」與鐵道局提出之「枋野一號鐵道橋安全檢測、評估及補強」皆有著墨於地震災害事件。

### 3. 多數未提及與應用氣候變遷資訊與未來情境

多數調適行動計畫皆未提及、參考或應用氣候變遷資訊與未來情境進行模擬與設計調適作為，為現行各單位提出之調適行動計畫中較為欠缺的項目。

### 4. 多數未進行氣候變遷風險評估

幾乎全數調適行動計畫皆沒有進行氣候變遷風險之評估，科學性的氣候風險評估與前述之氣候變遷資訊與未來情境應用同為現行各單位提出之調適行動計畫中較為欠缺的項目。

### 5. 部分為非因應氣候變遷衝擊目的之新建設計畫或維護改建計畫

部分調適行動計畫之內容為非因應氣候變遷衝擊目的之新建設計畫或維護改建計畫，尤以海空運系統之調適行動計畫為多，如民航局提出之「金門尚義機場海側護岸堤防設施工程」、港務公司提出之「各國際及國內商港港灣構造物維護管理計畫」、「維生碼頭規劃可行性評估（含維生碼頭改建工程）」、「既有碼頭檢測及改建評估計畫（含老舊碼頭改建工程）」等計畫之推動多非基於因應氣候變遷調適之需要。

## 4.2 運輸系統調適行動計畫之強化方向建議

本節彙整國內外調適計畫研擬指導文件，嘗試建立調適行動計畫檢核表，期供各運輸系統設施權責機關(構)研提新一期調適行動方案(112-116年)時參用，並提出下一期調適計畫可強化之方向建議，如下說明。

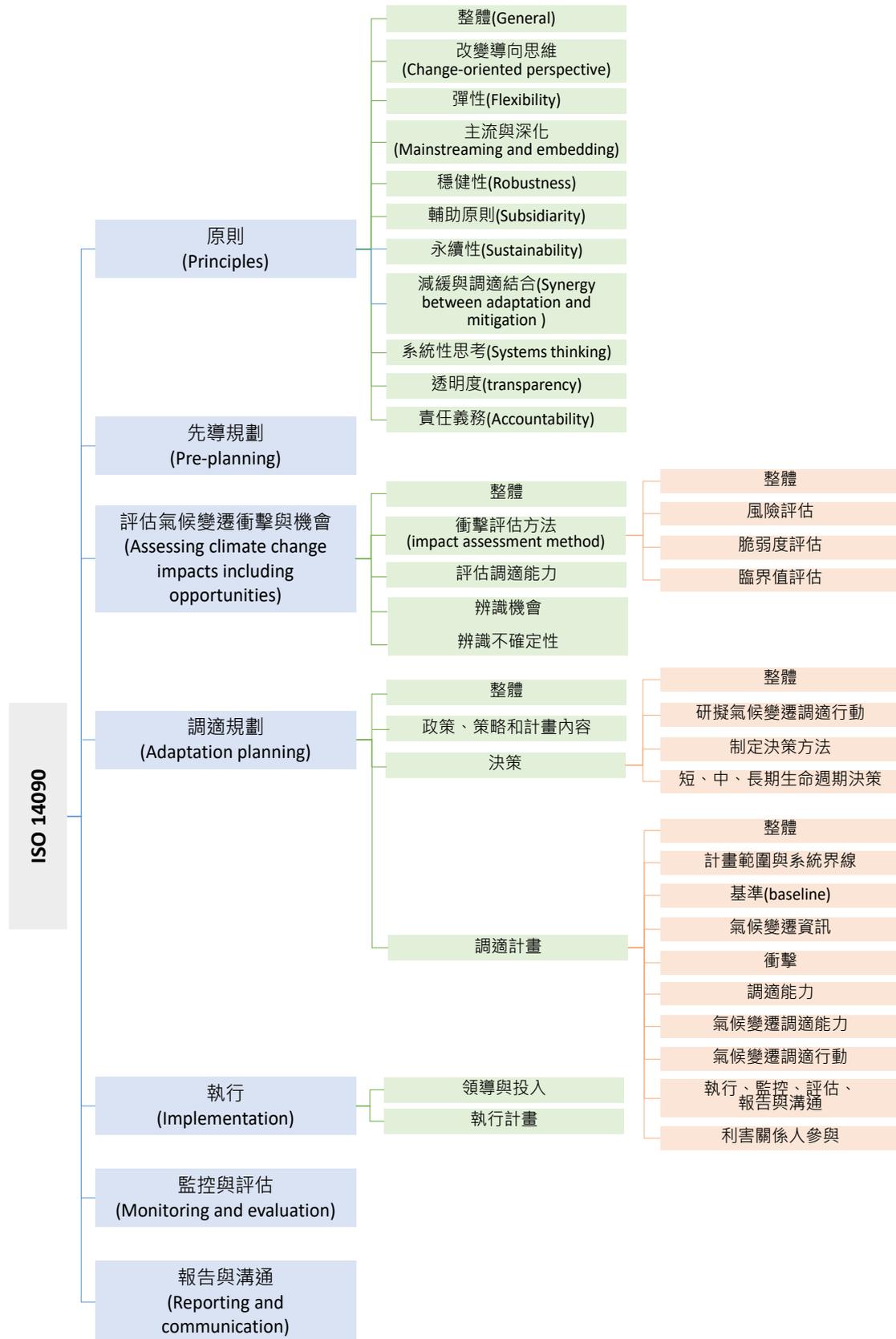
### 4.2.1 計畫研擬參考指引

ISO 於 2019 年發布針對氣候變遷調適的標準《ISO 14090 氣候變遷調適—原則、規定與指導》，並於 2021 年發佈《ISO 14091 氣候變遷調適—脆弱度、衝擊與風險評估指引》，此 2 份指導文件為國際適應氣候變遷系列標準的通則性標準，可提供研擬調適計畫的基本指導；此外，臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台（Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform, TCCIP）亦研擬氣候變遷調適能力建構之 6 大構面<sup>[40]</sup>，亦可供國內各部門研擬調適行動計畫時參考依循。

#### 1. ISO 14090 氣候變遷調適—原則、規定與指導

ISO 14090 說明如何將調適思維與措施導入組織及跨組織協作，此標準可協助組織辨識與瞭解氣候變遷的影響與不確定性並用於支援決策，除了管理風險外，也可從中利用氣候變遷所帶來的機會。其最主要的目的為透過建立一致化的架構與實際的執行方法，協助組織針對其面臨的氣候變遷風險研擬具效益且可付諸行動的調適計畫，適用於設計與執行政策、策略、計畫與行動。也具有一定的彈性，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 4.2.1。

ISO 14090 所揭示的 10 大原則（參見圖 4.2.2）為調適計畫的基礎，雖然原則非強制要求，但其在調適計畫的有效執行上有很高的效用，例如，改變組織的思維，當組織執行氣候變遷調適時，相關的單位需準備、支持與帶動組織在思維上對調適認知的改變。改變的幅度不一，可以是些微的變動，也可以是完全的轉變。為提高調適計畫的整體效益，也需持續回顧、回應與因應新的狀態、環境、方法與方案等，以保持調適計畫的彈性。除了調適計畫外，將調適的概念主流化，融入組織的政策、計畫與流程裡，也有利整體調適效益之提升。



資料來源：ISO，<https://www.iso.org/standard/68507.html>、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。

圖 4.2.1 ISO 14090 架構示意圖

4.原則	4.1整體	氣候變遷調適的基礎，並作為規劃的準則
	4.2改變導向思維	組織內所有層級的思維改變，改變可以是 <u>預防式(proactive)</u> 或 <u>反應式(reactive)</u> ，有不同的改變幅度
	4.3彈性	持續回顧、回應與因應新的狀態、環境、方法與方案等，採用滾動學習與因應管理流程，以響應式的方法改善理解、決策與執行等流程
	4.4主流與深化	調適融入組織的政策、計畫、流程等，以提高調適效益
	4.5穩健性	應用合適的方法與資料來源以達到 <u>穩健的決策與調適行動方案</u>
	4.6輔助原則	應用適合的程度、規模執行調適以最大化其效果
	4.7永續性	調適平均考量經濟、社會與環境議題，並平衡現在與未來世代的需求
	4.8減緩與調適結合	調適也考量減緩氣候變遷的目標
	4.9系統性思考	釐清內部、外部與兩者關聯的氣候變遷課題，如透過因果分析
	4.10透明度	氣候變遷調適的報告與溝通以 <u>透明與公開的態度</u> 提供給利害關係人
	4.11責任義務	組織清楚其在氣候變遷調適上的責任

資料來源：ISO，<https://www.iso.org/standard/68507.html>、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 109 年。

圖 4.2.2 ISO 14090 原則

## 2. TCCIP 氣候變遷調適能力建構之構面

TCCIP 以先前氣候變遷調適科技臺灣整合研究計畫 (Taiwan Integrated Research Program on Climate Change Adaptation Technology) 所提出的調適架構為基礎。以 IPCC 第 5 版評估報告書定義的風險為基礎，彙整國際與國內氣候變遷調適步驟，包含聯合國氣候變遷調適政策綱領 (UNDP Adaptation Policy Framework)、英國氣候衝擊計畫的調適精靈 (UKCIP Adaptation Wizard)、歐洲氣候調適平台的調適支援工具 (CLIMATE-ADAPT Adaptation Support Tool)，與我國氣候變遷地方調適計畫，提出將步驟式框架轉換為構面的構想，訂定氣候變遷調適能力建構 6 大構面，雖強調依序推動的重要性，仍可因應情況與障礙彈性調整 (如：跳過或以不同順序推動構面)。此方式雖然犧牲了調適的整體與統一性，但或許可有效促進行動的落實，後續仍可

以調適循環檢討的基本原則逐步彌補缺口，達到推動調適實際作為的統一參考框架。氣候變遷調適的構面包含：(1) 界定範疇、(2) 檢視現況、(3) 評估風險、(4) 綜整決策、(5) 推動執行與 (6) 檢討修正。(參見圖 4.2.3)。



資料來源：ISO，<https://www.iso.org/standard/68507.html>、本計畫彙整。

圖 4.2.3 TCCIP 調適 6 大構面

### 3. ISO 14091 氣候變遷調適－脆弱度、衝擊與風險評估指引

ISO 14091 說明如何執行氣候變遷風險評估，協助組織辨識與瞭解氣候變遷的影響並支援決策，此流程包含氣候變遷風險評估前置作業指引、如何執行氣候變遷風險評估、以及如何回報與溝通氣候變遷風險評估成果(詳 2.3 節)。

#### 4.2.2 運輸系統調適行動計畫檢核表設計

調適行動計畫須符合具有氣候變遷風險評估基礎、非日常固定之養護作業與因應氣候在變化而調整作為等特性。為協助運輸系統設施權責機關(構)強化新一期的調適行動方案，並確保行動方案符合氣候變遷調適之特性，本計畫嘗試設計一運輸系統調適行動計畫檢核表(參見表 4.2-1)，期能協助機關構思調適行動計畫，並自我檢核所研擬的行動計畫之內涵是否符合調適原則。設計構想說明如下：

## 1. 設計依據

檢核表之設計綜合參考前文《ISO 14090 氣候變遷調適—原則、規定與指導》的調適規劃架構、調適原則，以及 TCCIP 的氣候調適 6 大構面。

## 2. 檢核表架構

檢核表設計為 3 大部分，第一部分為計畫基本資料，包含填表的單位、調適行動計畫名稱、調適的設施（含軟、硬體），例如橋梁、機電、氣候變遷管理方法研究等、調適的風險類型，例如強降雨的強度與頻率增長造成淹水機率增加，縮短設施壽命、高溫影響機電設施效能與行車安全等，以及表單的填寫人資訊等。

第二部分為計畫簡要說明，包含簡述氣候變遷的風險與風險的影響、計畫的調適目標的完成的時間點、調適措施可追蹤量化之改善標的或統計指標、規劃計畫時，面臨之困難、挑戰或障礙等。

第三部分則分別就調適計畫的研擬流程逐一檢核，包含規劃階段、風險評估階段與執行調適計畫後的追蹤與檢討。

- (1) 規劃階段：規劃階段就調適計畫的範疇、目標、利害關係人與權責單位等問題的界定等重要事項做檢核。
- (2) 風險評估階段：風險評估階段就氣候變遷衝擊進行辨識與風險評估之工作進行檢核，包含風險評估的相關設定、計畫的不確定性的考量與效益的評估等。
- (3) 計畫執行階段：計畫執行階段就調適計畫的監督、效益追蹤與學習作為進行檢核。

表 4.2-1 運輸系統調適行動計畫檢核表  
 國家氣候變遷調適行動方案（112-116 年）－維生基礎設施  
 調適行動計畫機關檢核表

**第一部分：調適行動計畫基本資料**

填表單位		
調適行動計畫名稱		
調適的設施（含軟、硬體）		
調適的氣候風險類型		
填寫人	姓名	
	職稱	
	聯絡電話	
	E-mail	

**第二部分：調適行動計畫簡要說明**

1. 請簡述調適的氣候風險與風險可能造成的衝擊影響	
2. 請簡述調適計畫的階段目標，預期可能完成目標的時間點	
3. 請簡述調適措施可追蹤量化之改善標的或統計指標	
4. 請簡述本行動計畫執行規劃時，面臨之困難、挑戰或障礙	
5. 預期投入經費需求（112－116 年）	
6. 預期投入人力需求（112－116 年）	

### 第三部分：氣候變遷調適行動計畫檢核表

此檢核表整理調適行動計畫需考量的主要元素，請在完成的項目中打勾。

#### 1. 調適行動計畫的規劃

項次	檢核重點	勾選	說明
1-1	本調適計畫非日常維運養護之工作		
1-2	本調適計畫為新興計畫		
1-3	本調適計畫成立主政部門		
1-4	本調適計畫組成專業團隊		
1-5	本調適計畫界定擬解決的關鍵氣候變遷議題與範圍		
1-6	本調適計畫與利害關係人溝通		
1-7	本調適計畫與利害關係人合作		
1-8	本調適計畫有完整的執行資源		
	■ 人力		
	■ 技術		
	■ 經費		
	■ 科學數據		
1-9	本調適計畫可提升設施的氣候變遷韌性（依據交通部運輸系統調適策略）		
	■ 策略 1：提升氣候衝擊耐受度		
	■ 策略 2：降低氣候衝擊脆弱度		
	■ 策略 3：優化氣候衝擊反應力		
	■ 策略 4：建構氣候衝擊決策力		
1-10	本調適計畫有量化/質化調適標的		

#### 2. 調適行動計畫的風險評估作業

項次	審核重點	勾選	說明
2-1	本調適計畫評估當前氣候風險		
2-2	本調適計畫依據未來氣候變遷風險評估結果研擬		
2-3	本調適計畫之風險評估有設定下列項目：		
	■ 數據資料精度		
	■ 評估年期		
	■ 風險基準		
2-4	本調適計畫為因應氣候高風險的優先計畫		
2-5	本調適計畫評估與考量氣候不確定性(uncertainties)		

項次	審核重點	勾選	說明
2-6	本調適計畫有經過成本效益分析		
2-7	本調適計畫有共同效益 (co-benefit) ，如減緩效益		

### 3. 調適行動計畫的執行追蹤

項次	審核重點	勾選	說明
3-1	本調適計畫有監控調適成果		
3-2	本調適計畫有定期檢討調適成果		
3-3	本調適計畫有滾動檢討機制		
3-4	本調適計畫有後續調適措施的學習機制		

## 4.2.3 計畫研擬強化方向建議

依據上述檢核表檢視 107—111 年各運輸系統設施權責機關 (構) 提出之調適行動計畫，顯示現行調適計畫尚可強化之方向如下：

### 1. 強化計畫內容之完整性

依據 ISO 14090 之建議，調適計畫應包含 (1) 組織透過調適計畫將達成的目標、(2) 調適行動的理由、(3) 調適行動的基本原理、(4) 使用的假設、(5) 不確定性的來源、(6) 決策的方法、(7) 決策所依據的資料與數據、(8) 與既有政策與策略的關係、(9) 優先採取的行動與其效果、(10) 如何解決最急迫的氣候衝擊與相關的計畫、(11) 調適計畫的時限，以上 11 點完備成一個完整的調適計畫。

### 2. 強化計畫之範疇界定

依據 ISO 14090 之建議，需界定調適計畫的範疇並強化組織本身與其營運系統的韌性，因為調適與防災內涵有別，氣候變遷的尺度屬於較長的時間推估(至少超過未來 20 年的推估)，所以推動運輸系統調適行動計畫需要參考氣候變遷科學推估數據進而採取因應的工作。

### 3. 加強說明零方案之調適能力

在還沒有執行調適措施前之被評估項目的調適能力基準需說明清楚，方能與調適措施執行後的調適能力改善幅度進行檢視與比較。

#### 4. 加強說明氣候變遷資訊及情境

需說明氣候變遷資訊，包含歷史、現況與未來的溫室氣體排放之情境與其他應用的情境。

#### 5. 加強說明氣候變遷衝擊

需說明歷史、現況與未來衝擊，包含負面與正面，直接、間接與系統性的衝擊（活動、產品與服務）。

#### 6. 加強組織調適能力探討

說明組織現況調適能力，執行調適計畫所需之能力差距、以及如何將調適納入組織政策、策略與計畫。

#### 7. 加強調適計畫監控、評估與溝通概念

如執行上需要將調適計畫實際轉化為調適行動，一個很重要的工作為監控與評估，監控調適行動的執行，並評估投入與產出、資源分配等，以確保執行的調適行動計畫可達到預期的效果，或是效果不彰的時候調整作法，以達到調適計畫設定的目標。

#### 8. 加強利害關係人參與

執行之調適計畫也需與利害關係人溝通與分享計畫執行與成果，以獲得利害關係人的支持與合作。

#### 9. 加強氣候變遷風險評估

需進行氣候變遷風險評估前置作業，前置作業流程為：(1) 界定脈絡、(2) 辨識目標與期望的成果、(3) 訂定範疇與方法。並執行氣候變遷風險評估，評估流程為：(1) 篩選衝擊與研擬衝擊鏈、(2) 辨識指標、(3) 取得與管理數據、(4) 聚合指標與風險組、(5) 評估調適能力、(6) 解析與評估發現、(7) 分析跨部門依賴性、(8) 報告與溝通氣候變遷風險評估結果。

#### 10. 加強跨部會合作

需強化跨部會不同領域與系統間之協調合作，如交通部、科技部、水利署、各交通設施機關等在研擬交通部調適行動方案相關策略與措施時，能建立順暢之溝通平台，強化跨領域與跨系統間之調適行動方案。

#### 11. 辦理示範計畫

透過辦理示範計畫，建立具確實調適概念的成功參考案例，再逐步擴大辦理。

#### 12. 配合環保署通案性要求

應配合環保署之通案性要求，研提新一期國家氣候變遷調適行動方案。

### 4.2.4 調適行動六大步驟

為協助運輸系統設施權責機關研提新一期國家氣候變遷調適行動方案，本計畫提出調適行動六大步驟。由於不同業務單位之需求及既有資源差異，六大步驟之順序僅供參考，建議實作時可視機關實際需要彈性調整作業順序。調適行動六大步驟依序說明如下：

#### 1. 編列調適預算

國內的調適計畫目前尚未有專門的調適預算或基金做執行，因預算有限，調適行動計畫經常與其他面向的行動計畫競爭資源，故需政府政策方向的介入與領導，推動調適預算研擬的法源依據並落實調適主流化，以爭取足夠資金推動調適相關工作。

#### 2. 盤點與掌握氣候衝擊資料

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

#### 3. 訂定風險評估方法

風險評估為調適工作重要的基礎，需先掌握氣候變遷情下的風險並訂定基準，方能進行調適行動之研擬與規劃，其方法可參考《ISO 14091 氣候變遷調適-脆弱度、衝擊與風險評估指引》（參見第 2.3.1 節）。

#### 4. 盤點調適缺口

檢視運輸系統無法承受氣候變遷衝擊的區域或區段，盤點調適缺口後則需著手研擬調適策略並逐步降低風險，提高設施韌性。需定期重新進行脆弱度與風險的評估，以掌握設施最新風險狀態。

## 5. 研擬與推動調適計畫

依據缺口研擬調適行動計畫，為協助機關構思調適行動計畫，建議可運用 4.2.2 節提出之運輸系統調適行動計畫檢核表，強化新一期的調適行動方案，並確保行動方案符合氣候變遷調適之特性。

## 6. 監控調適計畫

為確保掌握調適計畫的執行狀況以確保其符合調適目標，透過建立調適工作專案生命週期並投入專案監測、評估機制，盡量使專案產出超過原先制訂之目標；透過持續回顧、回應與因應新的狀態、環境、方法與方案等，採用滾動學習的方式，以調整因應之方式，維持調適措施的彈性。



圖 4.2.4 調適行動六大步驟



# 第五章 公路系統規劃階段強化調適能力 機制與方法探討

面臨全球氣候變遷，公路系統遭遇氣候衝擊的頻率及強度均與日俱增，未來公路系統建設必須更加重視氣候變遷的潛在威脅與不確定性。理論上，公路設計的氣候耐受力標準愈高，壽命愈長，對於設施及用路人的保護能力愈高，然而公路建設成本必將隨之大幅度提高。因此，於公路系統規劃過程中，有必要先依據公路系統面對氣候變遷的情境，訂定可接受的各種風險範圍，同時評估未來社會的脆弱度與經濟條件，建立氣候變遷調適措施的投資準則並進行客觀評估。

基於上述脈絡，本章依循前文第三章運輸系統調適策略之「策略一：提升衝擊耐受力」所建議之相關措施，檢討如何將氣候調適概念納入規範或作業程序，探討公路系統規劃階段強化調適能力之機制與方法。

本章內容分為 4 節，首先於 5.1 節說明我國現行公路系統規劃階段研析的內容與作業流程；5.2 節研析現行公路系統規劃階段可強化調適能力的機制及相關作業方法；5.3 節進一步探討影響公路系統韌性強度之因素，以及對應的調適方法；5.4 節則聚焦因氣候變遷加劇強降雨對公路系統間交界處的衝擊，探討現行制度下可行的溝通協調機制。

## 5.1 公路系統規劃階段研析內容與作業流程

我國公路系統建設計畫之規劃階段係指可行性研究（先期規劃）與綜合規劃 2 階段，參見圖 5.1.1。

於規劃階段針對公路建設之全生命週期如何因應氣候變遷的影響並視情況規劃調適作為，將有助於整體強化公路系統的調適能力。

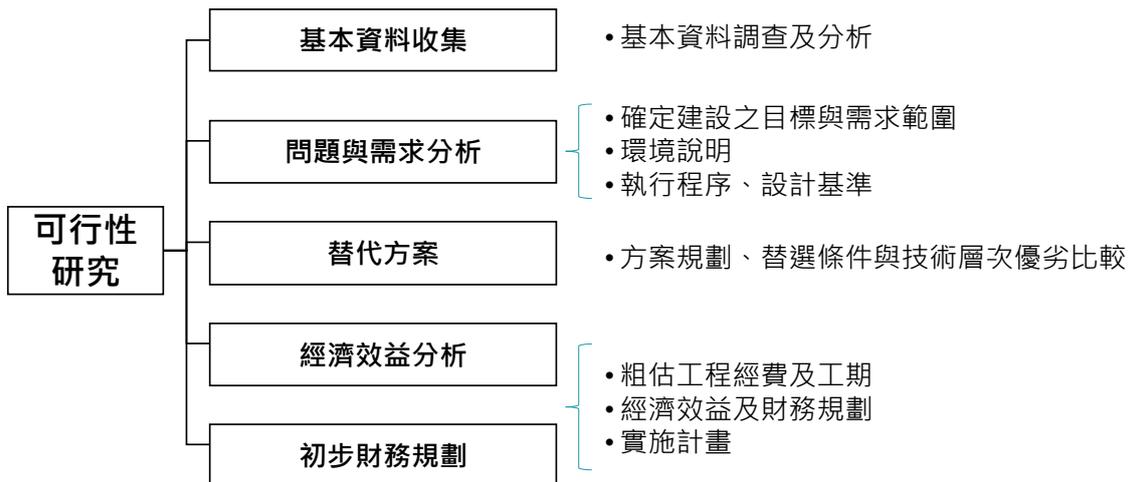


資料來源：本計畫繪製。

圖 5.1.1 公共工程建設流程

## 1. 可行性研究

可行性研究為各主管機關參酌研擬計畫之上位計畫，檢視是否符合其政策目標及是否可達到計畫預定之功能與目的。可行性研究之內容包含技術可行性、市場可行性、法律可行性、土地可行性、經濟可行性、管理可行性及初步財務規劃（含民間參與可行性）等項目。如圖 5.1.2 所示。

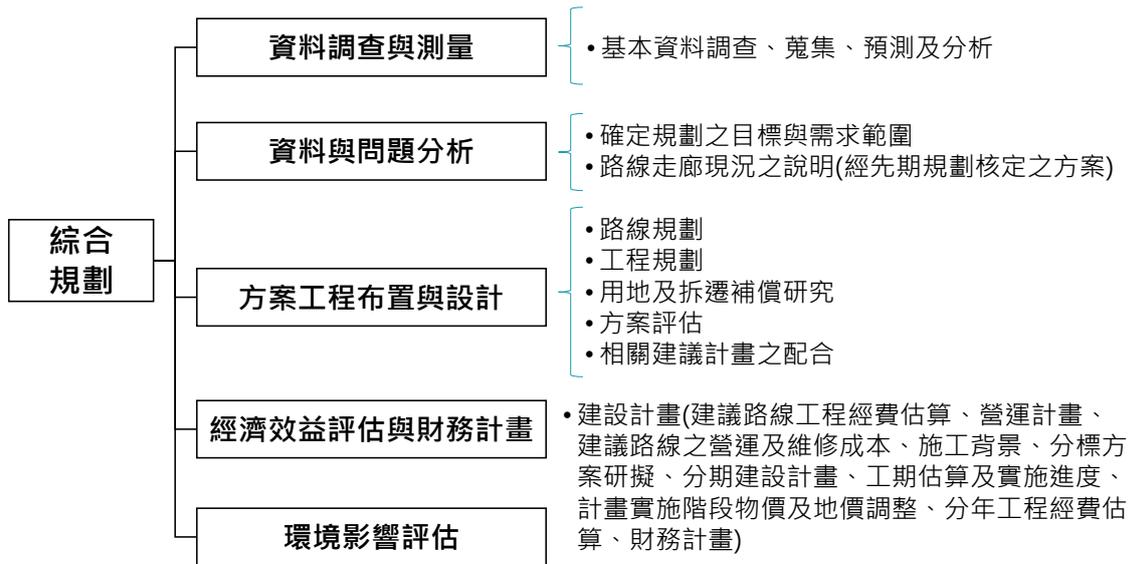


資料來源：行政院公共工程委員會，公共建設工程經費估算編列手冊，民國 107 年、本計畫彙整。

圖 5.1.2 公路系統建設可行性研究階段工作項目

## 2. 綜合規劃

綜合規劃則係在可行性研究報告奉行政院核定後評估通過後，循序辦理測量、地質探查等工程規劃與基本設計工作，並依環境影響評估法規定進行環境影響評估工作。依工程細部規劃結果再更深入地規劃工程與管理工作，包含選擇方案及替代方案之成本效益評估。綜合規劃項目如圖 5.1.3 所示。



資料來源：行政院公共工程委員會，公共建設工程經費估算編列手冊，民國 107 年、本計畫彙整。

圖 5.1.3 公路系統建設綜合規劃階段工作項目

### 3. 公路系統規劃作業流程

綜言之，目前我國公路系統規劃階段之作業流程可分為 3 個階段，如圖 5.1.4 所示，說明如下：

#### (1) 第一階段：資料蒐集

確立計畫範圍與目標，並進行計畫基本資料蒐集，補充調查與分析，第一階段先進行數據蒐集，數據包含一手調查數據與二手應用數據，並需確認二手資料與實地調查應收集之資料。

#### (2) 第二階段：方案研擬與評估

方案研擬與評估首先需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，接著研擬與評估計畫路線方案，並提出建議路線方案及其各工程項目之可行性研究。

#### (3) 第三階段：工程研究與評估

第三階段為建議路線方案工程研究、用地取得分析、建設計畫分析、經濟效益與財務評估等執行面的工作項目，並提出綜合評估與研議，最後給出結論與建議。



資料來源：本計畫繪製。

圖 5.1.4 公路系統建設規劃階段作業流程圖

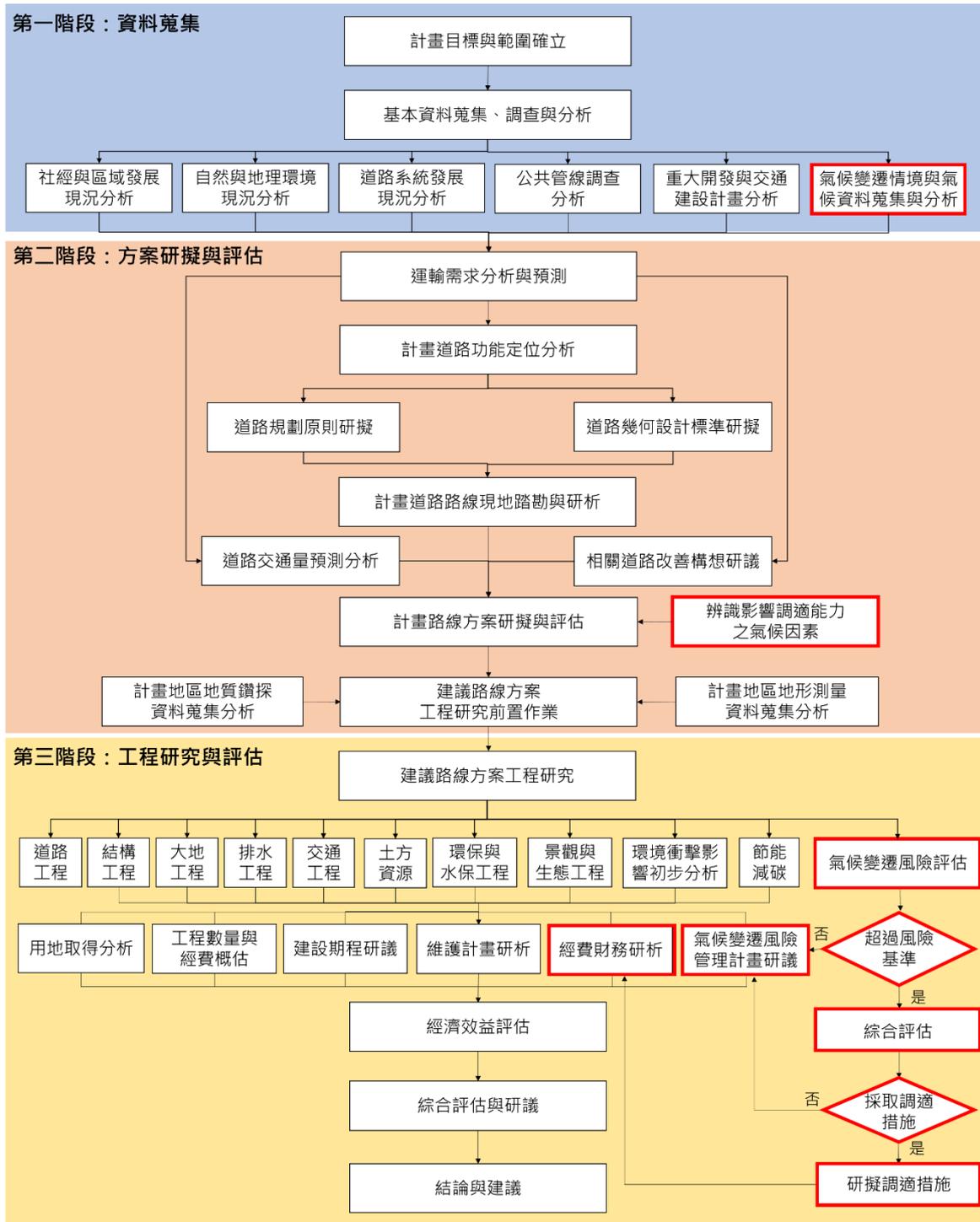
## 5.2 公路系統規劃階段強化調適能力之機制與作業方法

經由回顧國內公路系統於規劃階段之調適機制與方法，可知相關部會、局處已陸續針對雨水滯洪、提升排水效能、邊坡災害分析與復建工程規劃、水系統與交通路網之整合等面向進行相關規劃及研究，並制定設計準則與工法，以確保公路系統能在氣候變遷下正常發揮其應有的功能。

然而，欲提升公路設施於氣候變遷環境下的調適能力，於規劃階段（含新建與改建）即需對設施在氣候變遷環境以全生命週期探討在工程規劃與後續的養護管理，避免高風險潛勢區域、提高設施衝擊耐受力，但目前的公路系統規劃流程尚未系統化地考量氣候變遷的影響。

目前公路系統規劃階段的流程尚稱完善，惟未全面考量氣候變遷對設施與設施周邊區域的影響。本計畫參考國外公路系統氣候變遷調適手冊與指引，初步研提將氣候變遷的因素納入既有規劃流程的構想。

本計畫綜合分析我國公路系統規劃階段之作業流程，主要分為 3 個階段，並在 3 個階段下建議納入調適概念之作業步驟。說明如下：



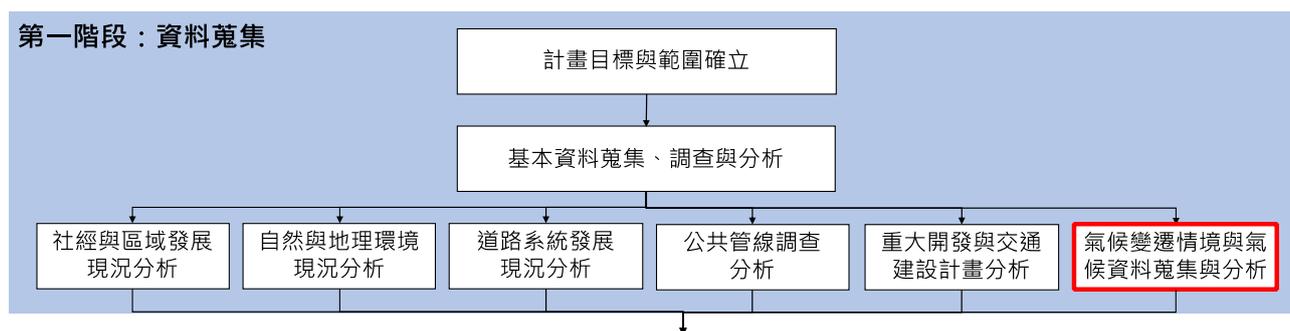
資料來源：本計畫繪製。

圖 5.2.1 公路系統規劃階段強化調適能力機制說明圖

## 5.2.1 第一階段：資料蒐集

確立計畫範圍與目標，並進行計畫基本資料蒐集，補充調查與分析，第一階段先進行數據蒐集，數據包含一手調查數據與二手應用數據，並需確認二手資料與實地調查應收集之資料。當前規劃流程僅針對計畫基地之歷史與現況基本資料進行蒐集，包含地質、地形、氣候、水文等，並無針對未來氣候變遷與推估的氣候資料與環境資料進行探討。

本計畫建議於資料蒐集納入未來氣候變遷情境與氣候資料蒐集與分析之工作，規劃團隊可就建設計畫所在之區域未來較可能會受到的氣候變遷影響進行資料的蒐集（參見圖 5.2.2 及表 5.2-1）。依據各專案不同的環境區位特徵指認應納入考量的氣候參數，如降雨（強度與頻率）、溫度（最高溫、最低溫、均溫及數天）、風（平均風速、最大陣風、風向）、海平面（平均水平、漲潮、暴潮）、流量（平均、最大和最小溪水位）等。



資料來源：本計畫繪製。

圖 5.2.2 資料蒐集階段納入氣候變遷調適考量

視公路系統之區位特性，蒐集相關氣候變遷情境與氣候資料，如未來推估的平均氣溫、降水量及降雨日數、颱風、暴潮、強風等狀況，建議可參考經濟部水利署水利資料開放平台以及科技部（MOST）與國家災害防救科技中心（NCDR）合作建立之臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台（TCCIP）等網站取得最新之分析資料。

若公路主管機關有業務需要，建議可進一步與 NCDR 合作，由機關提供學理、NCDR 提供氣候資訊分析，為其量身訂做針對專案所在區位的氣候模擬預測及分析。

表 5.2-1 氣候變遷情境與氣候資料蒐集與分析項目一覽表

項目名稱	工作項目	考量氣候變遷因素提升調適能力	資料提供單位
氣候變遷情境與氣候資料蒐集與分析	未來氣候變遷	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 蒐集未來氣候變遷情境下可能的強風、強降雨（降水量及降雨日數）、高溫、暴潮等狀況</li> <li>■ 臺灣氣候變遷研究目前主要依據 IPCC 模擬全球大尺度未來的氣候變化，而 NCDR 會再進行降尺度至台灣範圍進行氣候變遷模擬分析</li> </ul>	科技部（MOST）與 NCDR
	未來水文資訊	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 蒐集未來氣候變遷情境下對於水文可能的變化，如水位、流量等</li> </ul>	經濟部水利署
	未來工址地質及地形變化	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 蒐集未來氣候變遷情境下的敏感地質與山崩地滑、岩體滑動潛勢、土石流潛勢等狀況</li> <li>■ 蒐集未來氣候變遷情境下可能的地形變化（因侵蝕或極端事件）</li> </ul>	科技部（MOST）與 NCDR

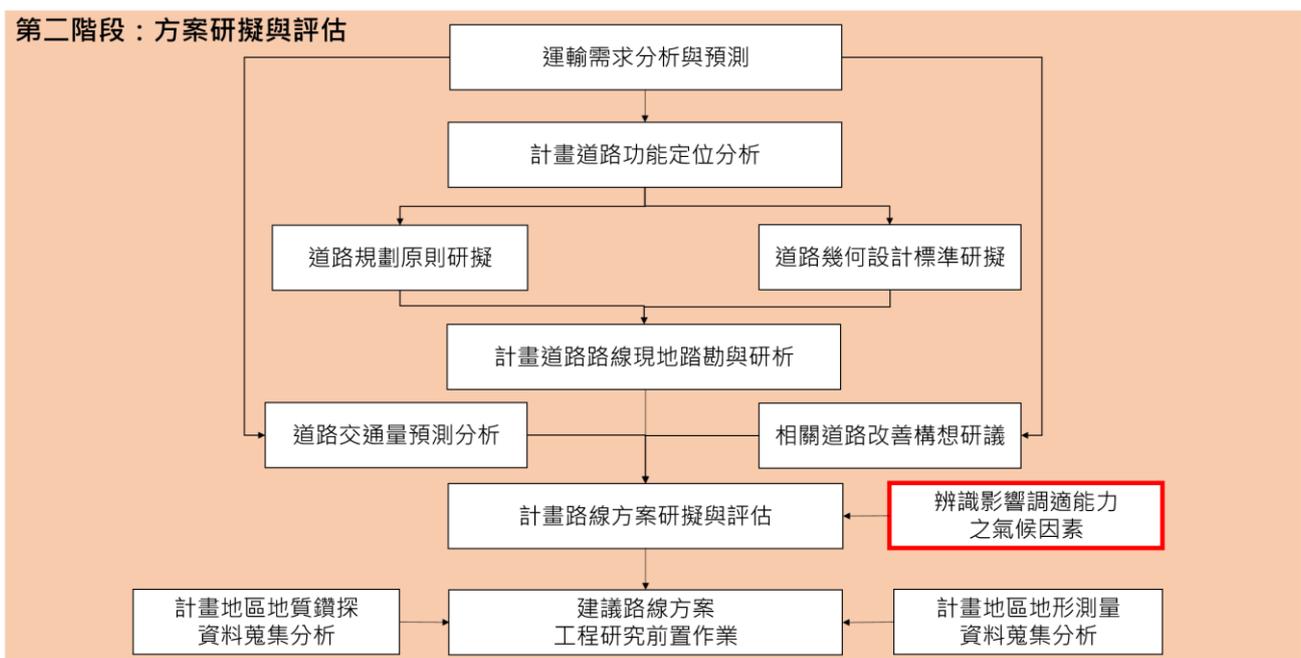
資料來源：本計畫彙整。

## 5.2.2 第二階段：方案研擬與評估

方案研擬與評估首先需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，接著研擬與評估計畫路線方案，並提出建議路線方案及其各工程項目之可行性研究。

由於氣候變遷的影響，許多氣候參數都呈現年均值增加或減少與出現越來越高的極端值的與季節性變異的趨勢，故篩選影響公路系統服務年限的氣候因素為關鍵調適工作，以掌握公路系統在面臨氣候變遷下可能產生的暴露度與危害。第二階段透過辨識與快篩公路系統在氣候變遷可能面臨的氣候因素（參見圖 5.2.3），針對較關鍵的氣候因素進行辨識與分析，以及相關的資料蒐集。

本計畫彙整影響臺灣公路系統之 5 大氣候壓力因素包含強降雨、強風、高溫、暴潮及海平面上升（詳見第 5.3.3 節）。建議可進一步針對不同氣候壓力，考量不同環境區位條件，從各種公路系統尺度觀點初步分析其潛在氣候衝擊（詳見第 5.3.4 節），以利進入第三階段的工程研究與評估流程。



資料來源：本計畫繪製。

圖 5.2.3 方案研擬與評估階段納入氣候變遷調適考量

### 5.2.3 第三階段：工程研究與評估

第三階段為用地取得分析、建設計畫分析、經濟效益與財務評估等執行面的工作項目，並提出綜合評估與研議，最後給出結論與建議。第三階段納入氣候變遷風險評估作業，先就建設計畫設施之壽年與可取得之氣候數據資料設定評估期程。

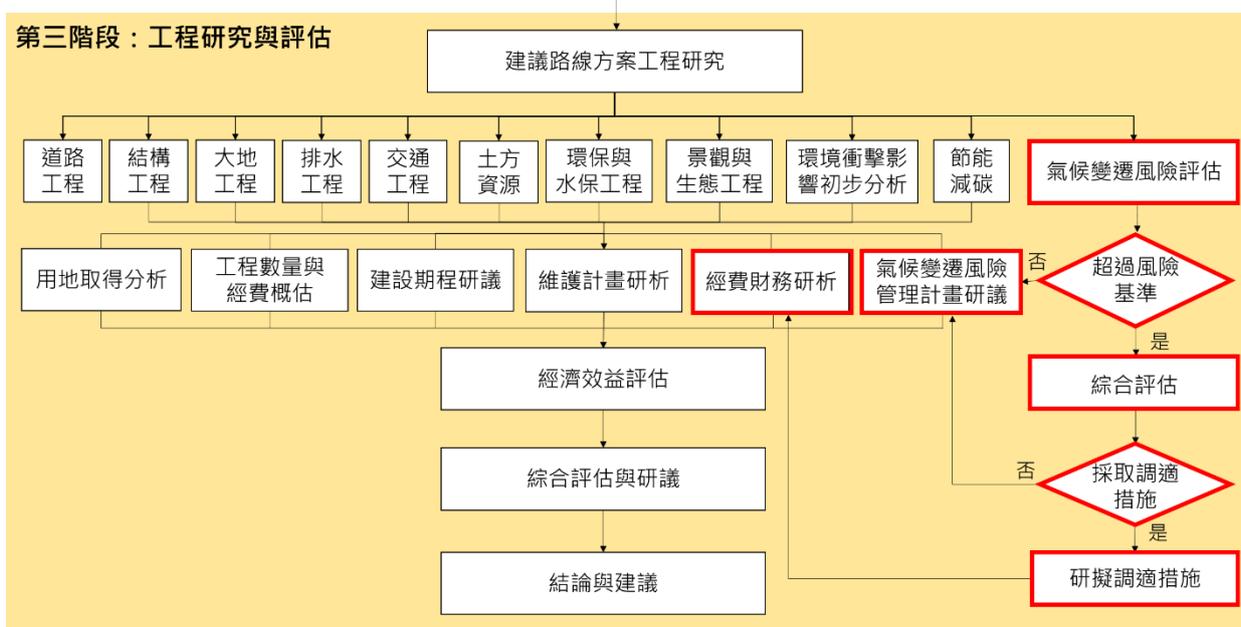
氣候變遷風險評估建議參考 110 年最新發佈的《ISO 14091 氣候變遷調適—脆弱度、衝擊與風險評估指引》，協助辨識與瞭解氣候變遷的影響並支援決策。而氣候風險評估作業程序首先由各工程面向考量與評估，並就辨識的各項風險訂定風險基準，無超過風險基準需進入氣候變遷風險管理計畫之研議，以妥善因應風險，如有超過風險基準的風險項目，再就機關之資源與預算綜合分析評估決定是否採取調適措施，如維持原方案，進入氣候變遷風險管理計畫之研議，如採取調適措施，進入調適措施之研擬，並進入經費財務研析流程，以輔助選取調適措施與顯示其重要性。

調適措施之類型可包含：

1. 彈性設計：包含備援系統或預留可因應未來氣候變遷調整的空間，例如預留車道空間，做為未來排水之用。
2. 穩健調適：可因應未來氣候變遷的強健設施方案。
3. 觀察法：持續觀察環境變化與設施狀況，依序導入調適作為。
4. 低或無悔調適：因應現況環境且可為未來氣候變遷建立基礎。

因氣候變遷的不確定性，且調適的措施亦有工程極限與預算限制，故建議須在就保留風險研擬氣候變遷風險管理計畫。

工程研究與評估納入氣候變遷調適考量之流程如圖 5.2.4 所示。



資料來源：本計畫繪製。

圖 5.2.4 工程研究與評估納入氣候變遷調適考量

研擬調適措施後進入綜合研析，最終由效益、財務及技術可行性等面向，分析調適措施實行之優先次序。上述調適措施的經濟效益評估需考量的參數，參考國外建設計畫之經濟效益評估手冊，建議包含：

#### (1) 基礎資料

- ① 氣候變遷情境與影響。
- ② 設施/設備的壽年。

(2) 成本項目

- ① 調適工程成本。
- ② 營運管理、折舊成本。
- ③ 其他成本。

(3) 效益項目

- ① 過往天氣事件造成的系統阻斷時間。
- ② 過往天氣事件造成的生命財產損失。
- ③ 過往天氣事件後的設施／設備修復方式與成本等。
- ④ 社會效益。

## 5.3 影響公路系統韌性強度之因素研析

本節首先說明探討影響公路系統韌性強度因素的流程及方法，然後依據該流程所制定的步驟逐項說明研究過程及重要成果。

### 5.3.1 研析流程與方法

#### 1. 研析流程

面臨氣候變遷環境，影響公路系統氣候韌性強度之因素甚為複雜。首先，不同專業背景的專家對於何謂「公路系統」有著不同的認知角度，對於「韌性」亦存在不同的關注面向，有的專家強調基礎設施的構成組件的強健性，有些則是重視營運服務的功能面向的彈性；此外，不同的氣候壓力（climate stressors）可能為公路系統帶來不同面向的韌性威脅。

本計畫為了追求更明確、更實用的研究成果，於進行研究之初先對研究命題進行解析，依據命題解析的結果再逐項分析探究。同時，於過程中再輔以各種專家諮詢的程序，以期提高研究品質。

本項議題的研析流程參見圖 5.3.1，依序說明如下：

#### (1) 解析公路系統的概念及組成

為探討氣候變遷下影響公路系統韌性強度之因素，本計畫對於「公路系統」的概念及組成進行解析，希冀能以較系統性的方式瞭解及陳述氣候變遷及極端氣候事件如何影響公路系統，俾利於更準確地研擬對應的調適機制與方法。

#### (2) 掌握臺灣地區公路系統面臨的氣候壓力（climate stressors）

蒐集國內相關科學報告及交通部統計要覽交通天然災害概況近 5 年統計資料，彙整影響臺灣公路系統之氣候壓力，做為研究分析的依據。

#### (3) 蒐集不同環境區位公路系統的氣候衝擊事件資料

過去經驗顯示，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風險不同。因此，本計畫將公路系統依據路線行經環境條件區分為山區公路系統及平原公路系統 2 類，分別蒐集其歷史極端氣候事件資料。同時，考量在氣候變遷環

境之下，未來臺灣可能遭遇前所未有的氣候衝擊類型及程度，因此，亦適度蒐納國外公路系統氣候衝擊事件資料做為研究之參考。

#### (4) 建構「氣候衝擊鏈」，分析影響公路系統韌性的因素

針對不同的氣候壓力，考量不同環境區位條件，考量各種公路系統尺度觀點分析其氣候衝擊。

「氣候衝擊鏈」之建構方法則是依據 IPCC AR5 以及 ISO 14090 的指引，並參考日本獨立行政法人國際協力機構 (JICA) 於 2019 年訂定之《氣候風險評估及調適指南》，建構公路系統的氣候衝擊鏈 (impact chains)，解析各種氣候壓力之下的危害因素、暴露因素以及脆弱因素，並嘗試參考國內外文獻研擬對應的調適方法。

#### (5) 專家、學者及機關諮詢

為強化研究成果的合理性及實用性，本計畫於研究過程中分別透過國內公路管理機關訪談、召開公路管理機關工作坊以及辦理專家學者座談會等方式諮詢國內公路主管機關及公路系統規劃設計領域專家與學者，將諮詢意見回饋研究成果。

#### (6) 研擬調適方法

綜理前述 (1) ~ (5) 各步驟的研究成果，以研析影響公路系統韌性強度之因素，並據以研擬對應的調適方法。

前述「調適方法」所指涉的是公路系統因應氣候變遷可以採行的調適途徑或方式。本計畫參考美國聯邦公路管理局 (FHWA) 對於調適措施的 5 種基本類型作分類：包含保護、調整、搬遷、增加備援、管理及維護，國外實務案例分析詳見第 2.4.2 節。

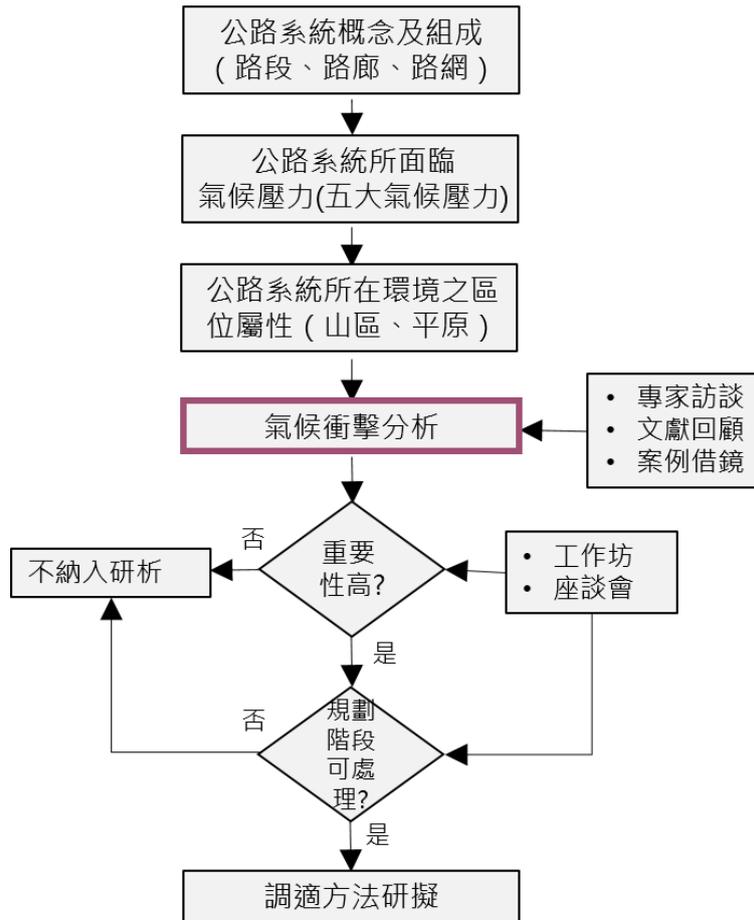


圖 5.3.1 探討公路系統韌性強度之因素研析流程

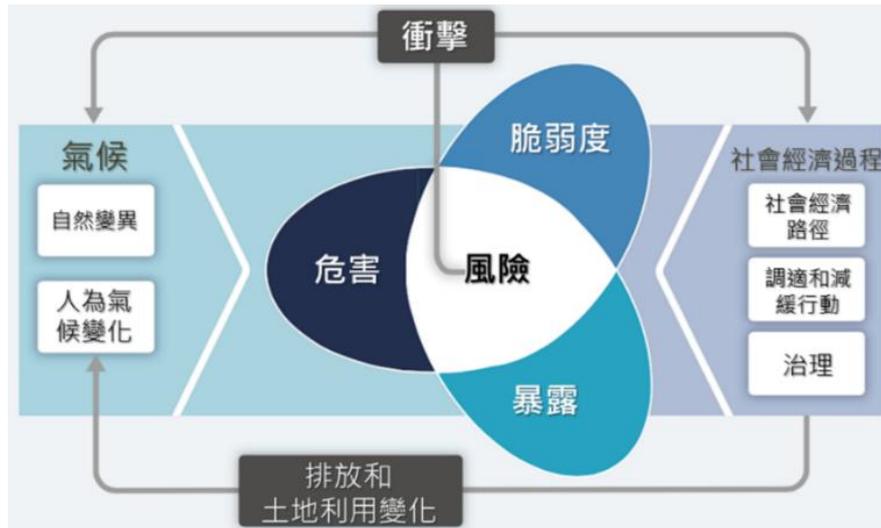
## 2. 研析方法

### (1) 理論基礎說明

前述流程 (4)「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。

IPCC AR5 所揭示的「氣候變遷調適」之操作概念係為「在氣候變遷的情境之下對於『氣候衝擊風險』進行有效的管理」。AR5 進一步指出「氣候衝擊風險」取決於 3 種主要因素 - 暴露度 (exposure)、脆弱度 (vulnerability) 及危害度 (hazard)，3 種因素的交集決定了風險，風險的大小與內容係依據 3 者的互動關係來決定，參見圖 5.3.2。

因此，決定公路系統氣候韌性的主要因素 (變數) 可採危害因素、暴露因素以及脆弱因素 3 者加以表述，公路系統氣候變遷調適即是有效管理上述 3 種因素，參見表 5.3-1。



資料來源：1.IPCC, 2014: Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change；2.同舟共濟-臺灣氣候變遷調適平台，環保署，110.9.16 查詢。

圖 5.3.2 IPCC 對於氣候衝擊風險的定義

表 5.3-1 影響公路系統氣候韌性之因素一覽表

項目	內容說明
氣候壓力因素 (同 IPCC 指稱危害度)	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。影響臺灣公路系統之五大氣候壓力因素包含：強降雨、強風、高溫、暴潮、海平面上升
暴露因素 (同 IPCC 指稱暴露度)	公路系統位於易受衝擊的地區（例如，淹水潛勢區、地質敏感區或坡災潛勢區等）
脆弱因素 (同 IPCC 指稱脆弱度)	公路系統本身容易受衝擊的特性、以及一旦失能可能影響的範圍及程度（例如，唯一維生聯外道路）

資料來源：本計畫彙整。

## (2) 公路系統規劃階段氣候衝擊鏈之建構與應用

由表 5.3-1 的分析可知，除了氣候壓力因素之外，公路系統的暴露因素（指系統所在區位條件）與脆弱因素（指系統本身特性）皆會影響系統將面臨的氣候衝擊程度。

因應各種影響公路系統韌性的因素，於規劃階段可著手思考對應的調適方法加以緩解或排除。美國聯邦公路總署（FHWA）將調適方法分為的 5 種基本類型：包含保護、調整、搬遷、增加備援、管理及維護。

依據前述 IPCC AR5 的理論基礎，參考 ISO 14091 之指導，建構臺灣公路系統氣候衝擊鏈（參見圖 5.3.3），藉以研析影響公路系統韌性強度之因素，並據以研擬對應的調適方法。

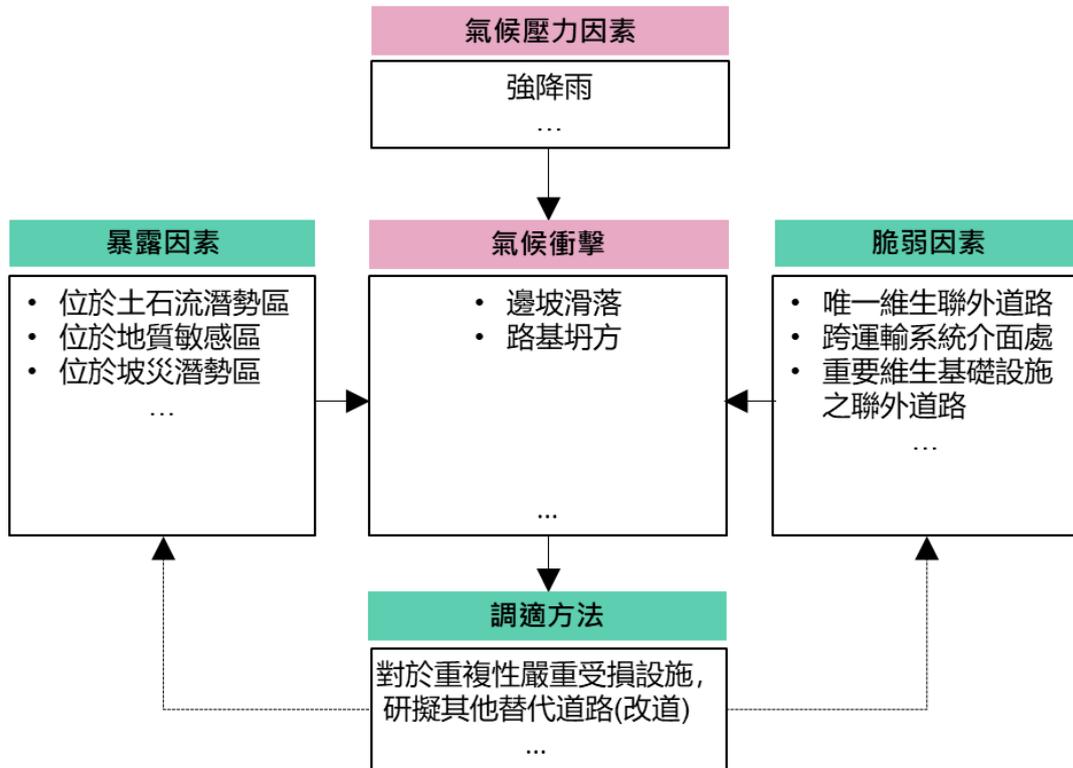


圖 5.3.3 公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖示例

本節後續將於 5.3.5 及 5.3.6 小節進一步說明如何利用公路系統氣候衝擊鏈分析方法，分析公路系統韌性因素及研擬對應的調適方法。

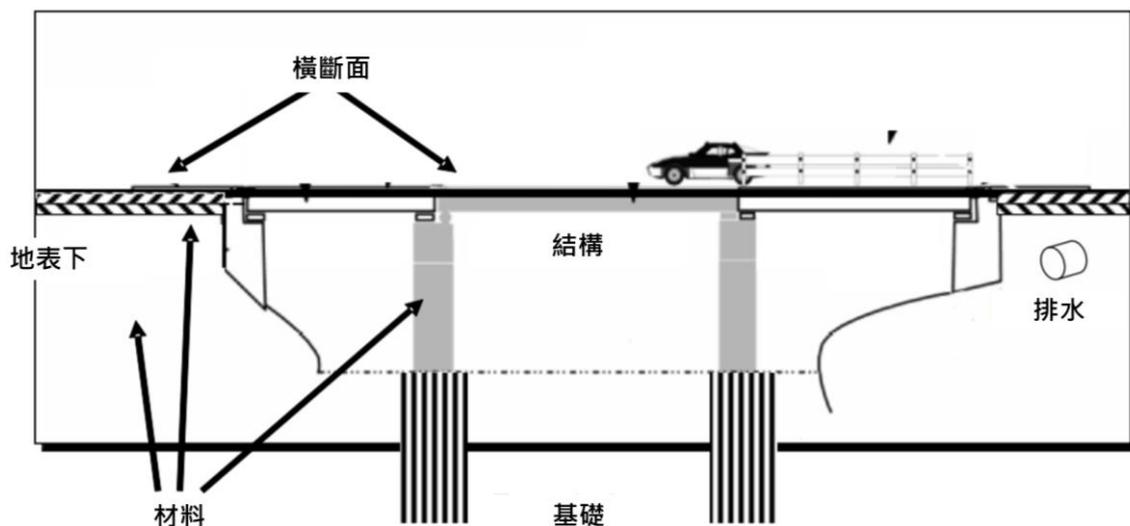
### 5.3.2 公路系統概念與組成

為研擬公路系統氣候變遷調適手冊，美國國家協作公路研究計畫（NCHRP）引用美國運輸學會（TRB）所建構的「公路系統」的概念框架為基礎，該框架亦適用於研析影響公路系統韌性因素：

#### 1. 路段尺度

路段為最小單元的影響層級，主要由基礎、材料、結構（橋梁結構）、排水系統與橫斷面（cross-section）等單元組成，路段概念如圖 5.3.4。

- (1) 基礎/地表下：為耐受力的重要條件之一，設計取決於土壤組成、水表、設施重量與載重。
- (2) 材料：材料的選取考量設計的功能與環境狀態，以道路來說需可以承受高溫，橋梁則需可以承受強風，濕度的改變與暴潮強度的增加等。
- (3) 橫斷面：公路橫斷面，可能因不同的設計標準而相互影響。
- (4) 排水系統：排水量能係依據預測的水量進行設計，但在氣候變遷的環境下，雨量與暴潮等發生的頻率與強度改變，影響設計的難度。
- (5) 結構：主要針對橋梁結構，特別是跨河橋在面臨氣候變遷環境下的暴潮與海浪沖刷加劇及河流漂流物對橋墩的撞擊。

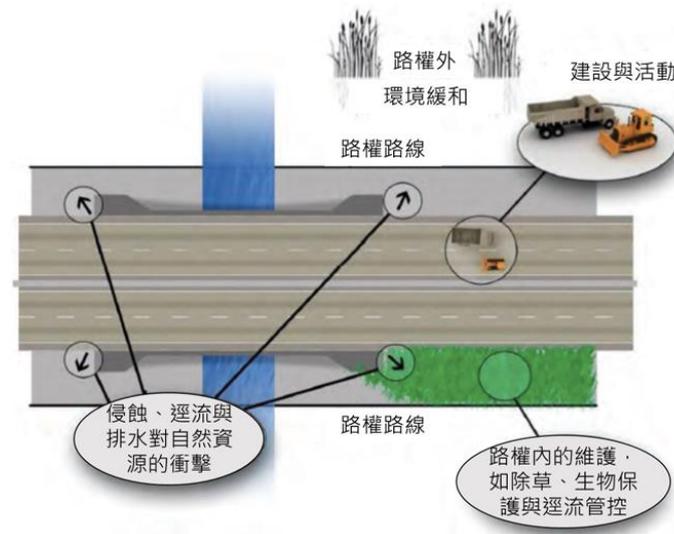


資料來源：National Cooperative Highway Research Program, Climate Change, Extreme Weather Events and the Highway System: A Practitioner's Guide, 2014.

圖 5.3.4 公路系統路段概念

## 2. 路廊尺度

以路廊尺度來看，強降雨造成的淹水可能從路段擴及到路廊，也影響周邊環境的水體與生態環境，路廊概念如圖 5.3.5。

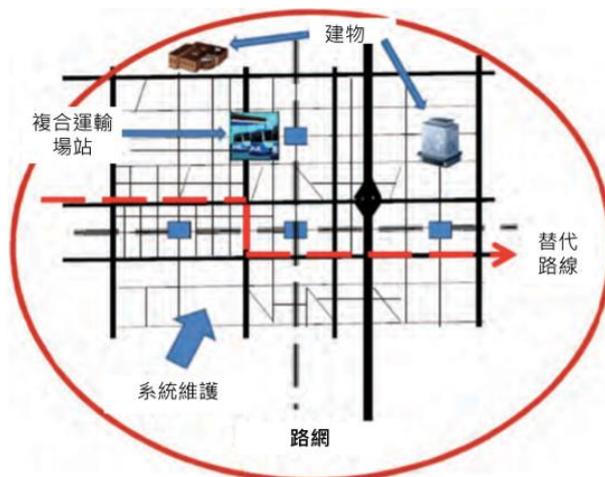


資料來源：National Cooperative Highway Research Program, Climate Change, Extreme Weather Events and the Highway System: A Practitioner's Guide, 2014.

圖 5.3.5 公路系統路廊概念

## 3. 路網尺度

路網尺度涉及整體公路系統的管理，主要以面臨氣候變遷環境之下，公路彼此之間的連結性、跨系統場站的連結性、氣候影響的持續性以及路網彼此之間的替代性為考量重點，路網概念如圖 5.3.6 所示。



資料來源：National Cooperative Highway Research Program, Climate Change, Extreme Weather Events and the Highway System: A Practitioner's Guide, 2014.

圖 5.3.6 公路系統路網概念

### 5.3.3 公路系統面臨的氣候壓力因素

氣候壓力因素 (climate stressors) 係指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。依據 IPCC 氣候變遷第六次評估報告 (AR6) 之科學重點摘錄與臺灣氣候變遷評析更新報告<sup>[6]</sup>、交通部統計要覽交通天然災害概況近 5 年統計資料<sup>[41]</sup>及臺灣氣候變遷科學報告 2017—衝擊與調適面向<sup>[42]</sup>等，彙整影響臺灣公路系統之 5 大氣候壓力因素如下：

1. 強降雨：颱風強度增強造成強降雨，區域型強降雨亦呈現增加趨勢
2. 強風：颱風強度增強，造成強風及沿海巨浪增強
3. 高溫：全球暖化持續進行，臺灣平均氣溫百年來增溫約 1.3°C
4. 暴潮：海平面上升與颱風強度增強，加劇暴潮衝擊
5. 海平面上升：全球平均海平面持續上升，臺灣平均海平面每年上升 3.4mm

### 5.3.4 公路系統所在環境區位與氣候衝擊

本計畫針對公路系統 (包含國道、省道、快速公路) 所在之地域特性，區分為山區公路與平原公路 (含沿海地區) 等 2 類，並就路段、路廊以及路網 3 種不同的公路系統尺度，探討山區公路及平原公路在不同尺度下面臨的氣候衝擊。說明如下：

#### 1. 山區公路系統面臨的氣候衝擊

在氣候變遷的環境下，極端天氣發生的頻率與強度可能逐漸增加。本計畫蒐集國內外案例以分析不同氣候壓力因素可能對於山區公路系統的氣候衝擊，案例彙整如表 5.3-2。

##### (1) 路段尺度

就路段尺度而言，強降雨對道路帶來結構性的威脅，包括路基及路面因持續性強降雨造成掏空或塌陷、強降雨使得河川溪水暴漲橋梁受沖刷，尤其橋台受到沖刷容易發生倒塌或是橫斷面損壞位移；強降雨時土壤含水量過高會影響道路、橋梁與隧道的結構強度。此外，極端降雨伴隨強風吹落的樹枝落石等漂流物，會沖刷或撞擊橋梁產生危害。

## (2) 路廊尺度

以路廊尺度而言，強降雨主要對周邊環境的影響，包括若上游岩層屬性較為軟弱且表層崩積土石覆蓋，強降雨可能造成邊坡塌滑，產生土石流、落石等傷害，如 104 年蘇迪勒颱風 3 小時累積雨量破紀錄，水流宣洩不及，沖刷原先就存在的土砂後形成土石流，重創烏來山區。此外，山區多有野溪或地表逕流漫流累積導致積淹水事件發生，影響周邊排水系統與生態環境。

強風時常使道路周邊設施如路樹或電線桿等傾倒，嚴重時會使道路封閉管制影響道路通行外，也有因為路樹強風吹倒壓毀電線桿，導致周邊住戶停電的情況。

此外，在森林大火延燒情況下，可能引發邊坡野火影響道路邊坡進而造成周邊土石鬆動危機，甚至濃煙影響道路駕駛。

## (3) 路網尺度

路網尺度涉及替代道路與交通場站，山區道路的替代道路數普遍較低，在強降雨時可能面臨運輸中斷的風險，如白楊步道為國家公園知名步道，其步道口銜接台 8 線，位於 168.8K 處之明隧道幾度因土質脆弱常遭受崩塌損毀，尤其 98 年發生大規模邊坡岩盤崩塌，導致隧道封閉中斷。

位於山區或連結山區公路的交通場站也可能在強降雨下面臨交通場站聯外道路淹水的風險。

綜合上述案例彙整山區公路系統面臨的潛在氣候衝擊如表 5.3-3 所示。

表 5.3-2 不同氣候壓力因素影響山區公路系統案例一覽表

編號	案例概述	公路名稱	系統尺度	公路系統組成	氣候壓力因素	直接衝擊
1	108年5月30日23時因連續多日豪雨使台14甲線18.6K路段下邊坡發生路基掏空失情事，現場缺口持續坍塌擴大（長14m、寬4.8m、深14m）造成道路阻斷	台14甲線18.6K翠峰路段	路段	基礎/地下	強降雨	下邊坡發生路基掏空
2	台7甲線41.7K處，因岩層軟弱、表層崩積土石覆蓋大雨易崩塌，遂辦理道路退縮改善工程，改善迴頭彎路段	台7甲線_41.7K	路段	基礎/地下	強降雨	路基掏空路面塌陷
3	110年0806水災造成台20線93k~98k+700勤和至復興路段明霸克露橋A1-P2橋面板沖毀，導致桃源區復興等三里民眾受困	台20線南橫公路-明霸克露橋	路段	橋梁/橫斷面	強降雨	橋梁受沖刷（漂流物撞擊）
4	台7丙線牛門橋位處蘭陽溪河到最窄束縮帶，河川暴漲沖刷嚴重，被列入省道老舊受損橋梁緊急改建計畫，已於99年改建完工	台7線94.1K與台7丙線起點	路段	橋梁	強降雨	橋台沖刷
5	110年0806水災高雄茂林溪水暴漲，水位高過堤岸並溢過溪邊道路，造成大面積淹水，使高132線1K+200路段之情人谷（得樂日嘎大橋）週遭道路陷入一片汪洋	高132線	路廊	排水	強降雨	水位溢堤淹水、排水涵孔堵塞
6	蘇花公路以安全、可靠運輸服務及強化東部生命線道路耐受力為目標，以路段受損阻斷及交通肇事頻率高路段進行改善，主要分為「蘇澳至東澳段」、「南澳至和平段」及「和至大清水段」，全長38.8公里，有8座隧道（24.6公里）、13座橋梁（8.6公里）、平面道路（5.6公里）	台9線（蘇澳-大清水）	路廊	路段與周邊環境	強降雨	邊坡滑落、路基坍塌
7	104年蘇迪勒颱風3小時累積雨量破紀錄，水流宣洩不及，沖刷原先就存在的土砂後形成土石流，重創烏來山區	台9甲線、環山路及平廣路沿線	路廊	路段與周邊環境	強降雨	崩積層土砂累積邊坡滑落

表 5.3-2 不同氣候壓力因素影響山區公路系統案例一覽表(續)

編號	案例概述	公路名稱	系統尺度	公路系統組成	氣候壓力因素	直接衝擊
8	110年烟花颱風時山坡大樹因不敵強風吹襲加上豪雨過後土石鬆動，斷裂橫倒於路面，立即封鎖該段道路實施交通管制	台3線桃園龍潭區中豐路高平路段以及龍新路段	路廊	路段與周邊環境	強風	路樹傾倒造成道路中斷
9	潭美颱風屏東霧台伊拉部落台24線27公里處，有路樹因強風吹倒壓毀電線桿，導致2、300戶停電	台24線27K	路廊	路段與周邊環境	強風	周邊住戶停電
10	110年3月阿里山鄉169線28公里明隧道上方山坡發生火警，森林大火延燒48小時至阿里山公路邊坡，造成土石鬆動，燃燒範圍約100平方公尺	169線28K	路廊	路段與周邊環境	高溫	影響道路邊坡
11	白楊步道口銜接台8線，168.8K處明隧道幾度因土質脆弱常遭受崩塌損毀，尤其98年發生大規模邊坡岩盤崩塌	台8線168.8K_白楊明隧道	路網	隧道	強降雨	隧道崩塌無替代道路

資料來源：1.交通部公路總局第二區養護工程處搶災紀實網，108年5月31日台14甲線18.6K（翠峰路段）路基掏空搶災紀實，民國110年8月更新。

- 2.交通部公路總局第四區養護工程處，從心之年，磨一劍：交通部公路總局第四區養護工程處70週年紀念專刊，民國108年12月。
- 3.交通部公路總局第三區養護工程處訊息公告網，民國110年8月20日。
- 4.交通部公路總局第四區養護工程處，從心之年，磨一劍：交通部公路總局第四區養護工程處70週年紀念專刊，民國108年12月。
- 5.中央通訊社新聞，<https://www.cna.com.tw/news/alloc/202108070159.aspx>，民國110年8月7日。
- 6.交通部公路總局第四區養護工程處，<https://thbu4.thb.gov.tw/page?node=6861c85c-e12e-468e-b885-f3e9d29d440ed>。
- 7.上下游新聞，<https://www.newsmarket.com.tw/blog/74687/>，民國104年8月19日。
- 8.桃園電子報，<https://tyenews.com/2021/07/134822/>，民國110年7月22日。
- 9.中時新聞網，<https://www.chinatimes.com/amp/tube/20130822002338-261402>，民國102年8月22日。
- 10.華視新聞網，<https://news.cts.com.tw/cts/society/202103/202103212035454.html>，民國110年3月21日。
- 11.交通部公路總局第四區養護工程處，從心之年，磨一劍：交通部公路總局第四區養護工程處70週年紀念專刊，民國108年12月。

表 5.3-3 山區公路系統面臨的潛在氣候衝擊綜理表

公路系統 尺度	公路系統組成	氣候壓力因素	對於公路系統的直接衝擊
路段	橋梁結構	強降雨	邊坡坍塌（土石流、落石等）
			土壤含水量過高影響道路、橋梁與隧道的結構強度
			強降雨沖刷橋梁基礎
		強風	強風影響橋梁結構
	基礎/地表下	強降雨	路基受沖蝕掏空
	排水	強降雨	排水不良造成淹水
	橫斷面	強降雨	道路的橫斷面，面臨強風暴雨沖刷等影響
路廊	周邊環境	強降雨	路廊因地表逕流溢淹，影響周邊排水系統與生態環境
		強風	路樹傾倒造成道路中斷 供電系統損壞
		高溫	引發邊坡野火
路網	替代道路	強降雨	替代道路數量低，強降雨時可能面臨運輸中斷
	交通場站	強降雨	交通場站聯外道路淹水，造成運輸中斷

資料來源：National Cooperative Highway Research Program, Climate Change, Extreme Weather Events, and the Highway System: Practitioner's Guide and Research Report, 2014.、CEDR Transnational Road Research Programme, ROADAPT Roads for today, adapted for tomorrow Guidelines、公路系統設施權責機關構訪談等綜整。

## 2. 平原公路系統面臨的氣候衝擊

本計畫蒐集國內外案例以分析不同氣候壓力因素可能造成平原公路系統的氣候衝擊，案例彙整如表 5.3-4。

### (1) 路段尺度

以路段尺度來看，強降雨在平原公路的橫斷面（道路與閘道交接處）會造成淹水，影響行車並可能中斷交通，如民雄交流道 101 年底完工後至 103 年發生至少 4 次淹水災情，尤其 102 年 8 月 29 日康芮颱風強襲嘉義地區，強降雨造成民雄交流道地下道嚴重淹水。

強降雨促使河川水位暴漲，使橋梁受到沖刷影響橋梁結構，嚴重時橋墩會因水流淘刷而位移或橋梁毀損。依據預測，颱風發生的頻率雖會減少，但強颱發生的機率增加，而颱風挾帶的強風對道路設施或橋梁結構將造成影響，嚴重者會造成用路人的生命危害，如 104 年蘇迪勒颱風時吹壞號誌導致不會正常亮紅燈，駕駛人行至路口遭受衝撞，重傷送醫不治。

除了豪雨、強風的強度增加，溫升亦有加速的趨勢，對平原公路的道路鋪面會造成軟化與泛油，形成車轍或是使道路標線融化難以辨識，另外，高溫炎熱導致柏油路面溫度升高，車輛爆胎機率比平常高會提升輪胎耗損率，且有因爆胎衝出護欄發生墜橋的意外事件，上述情形皆會影響行車安全與設施強度甚至造成慘重傷亡。

## (2) 路廊尺度

以路廊尺度而言，強降雨對周邊環境的影響如路廊因地表逕流漫流或河川溢堤造成溢淹，影響周邊排水系統與居住環境，以 104 年蘇迪勒颱風期間三峽河溢堤為例，溢淹事件影響三峽祖師廟、萬壽橋、清水街、忠孝街、秀川街及民族街 5 巷周邊環境，主因上游降雨過大，熊空溪溪水暴漲，河川水位超過一級警戒水位，其支流福德坑溪下游段受三峽河水位頂托，河水漫過堤岸導致沿岸民宅淹水。

另外，沿海地區公路系統面對颱風帶來的暴潮常造成的路基掏空、路段淹沒與橋梁受沖刷等情況將加劇，在臺灣尤其以臺東縣台 9 線公路常有因大浪侵襲導致公路溢淹災害事件發生，不僅影響公路上通行車輛與人員之安危，亦因長期波浪侵襲下，易發生沙灘流失及海岸線不斷地往內陸退縮之情況，進而提升近岸大浪直接襲擊公路溢淹之可能性，其碎波波浪更可能直接淘刷台 9 線公路之底部基座。

## (3) 路網尺度

路網尺度涉及替代道路與交通場站，平原公路系統若是替代道路數低或周邊道路環境與水準相似，其他替代道路數也可能受到相似的災害影響，可能面臨運輸中斷的風險，而交通場站也可能在強降雨下面臨交通場站聯外道路淹水的風險，尤其平原地區為運輸物流之高密度地區，公路或市區道路與鐵公路、機場與港埠等交通場站相連接形成運輸物流系統，若運輸路網受到中斷將間接影響廣大的社會經濟層面。

平原地區另外會受到的氣候壓力因素為海平面上升，雖然是一個較長期與平穩的氣候變遷壓力因素，但研究也顯示海平面上升有加速的趨勢。海平面上升對路段的影響包含路基沖刷的加劇，亦可能造成路段與路廊淹沒，過去 60 年以來臺東縣海岸已退縮 100 至 300 公尺，且目前仍持續中，加上未來全球暖化造成海平面上升，南迴公路臨海路段最快可能在 50 年內會被海水淹沒，面臨道路與替代路段被淹沒風險。

綜合上述案例彙整平原公路系統面臨的潛在氣候衝擊如表 5.3-5 所示。

表 5.3-4 不同氣候壓力因素影響平原公路系統案例一覽表

編號	案例概述	公路名稱	系統尺度	公路系統組成	氣候壓力因素	直接衝擊
1	1975年辛樂克颱風暴雨促使河水暴漲，台13線后豐大橋橋墩因而被掏刷沖斷橋梁	台13線后豐大橋	路段	橋梁結構	強降雨	橋梁受沖刷
2	民雄交流道101年底完工後至103年發生4次淹水災情，尤其102年8月29日康芮颱風強襲嘉義地區，強降雨造成民雄交流道地下道嚴重淹水	中山高速公路民雄交流道	路段	排水	強降雨	排水不良淹水
3	106年6月間省道台2線金山至三芝段，因強降雨道路淹沒、中斷運輸	台2線金山至三芝段	路段	排水	強降雨	排水不良淹水
4	106年6月因連日豪雨來襲，較低窪易淹水路段包含台61線布袋路段，派員定時巡查及交通管制，以確保用路人安全	西部濱海台61線台西至布袋路段	路段	排水	強降雨	排水不良淹水
5	104年蘇迪勒颱風時吹壞號誌導致不會正常亮紅燈，駕駛人行至路口遭受衝撞，重傷送醫不治	台72線東西向快速道路與苗119甲線的客屬大橋十字路口	路段	號誌	強風	颱風吹壞號誌，影響路口安全
6	1940年美國華盛頓州塔科馬海峽吊橋因橋面厚度不足，在受到強風的吹襲下引起卡門渦街，使橋身擺動引起吊橋劇烈共振而崩塌	華盛頓州16號幹線-塔科馬海峽吊橋	路段	橋梁	強風	橋梁崩塌
7	104年5~6月期間，南亞地區異常高溫的熱浪肆虐印度，其中新德里薩夫達將(Safdarjung)醫院附近一條道路太熱融化扭曲模糊	新德里薩夫達將道路	路段	道路標線	高溫	標線難以辨識
8	夏季炎熱導致柏油路面溫度高，爆胎機率比平常高出1至2成，因爆胎衝出護欄墜橋，造成慘重傷亡	國道3號南下後龍交流道路段	路段	鋪面	高溫	提升輪胎耗損率
9	104年蘇迪勒颱風期間福德坑溪下游段受三峽河水水位頂托，河水漫過堤岸導致沿岸民宅淹水	北114縣道6.2K(通往有木里處)	路廊	周邊環境	強降雨	地表逕流、河川淹溢

表 5.3-4 不同氣候壓力因素影響平原公路系統案例一覽表(續)

編號	案例概述	公路名稱	系統尺度	公路系統組成	氣候壓力因素	直接衝擊
10	107年9月山竹颱風外圍環流在台東海域掀起滔天巨浪，多處海水倒灌，海浪襲擊導致公路溢淹情況發生	台9線香蘭至三和段 396K+000~396K+500	路廊	周邊環境	暴潮	溢淹災害、海岸公 線退縮、淘刷公 路底部基座
11	「運輸物流供應鏈恢復力之研究」回顧國內鐵路、機場與港埠管理機關的災害防治作為，說明各物流系統作業程序，研擬物流風險評估指標，辨識海空運輸供應鏈的氣候變遷風險與脆弱度，針對我國國際運輸物流系統因應天災之即時反應機制提出發展建議	運輸系統	路網	替代道路 交通場站	強降雨	道路封閉中斷
12	過去60年以來台東縣海岸已退縮100至300公尺，且目前仍持續中，加上未來全球暖化造成海平面上升，南迴公路臨海路段最快可能在50年內會被海水淹沒	南迴公路臨海路段	路網	替代道路	海平面上升	路段消失

資料來源：1.臺灣公路工程第37卷第11期，台13線后豐大橋斷橋原因之探討及相關問題之建議，民國100年11月。

2.嘉義縣政府全球資訊網，民國103年9月9日。

3.環境資訊中心網站，<https://e-info.org.tw/node/205353>，民國106年6月5日。

4.自由時報，<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/2102152>，民國106年6月16日。

5.東森新聞，<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=NnVEwrVc2UY>，民國104年8月9日。

6.維基百科-塔科馬海峽吊橋。

7.全球災害事件簿，2015印度與巴基斯坦熱浪事件分析報導。

8.自由時報，<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1383573>，民國104年7月18日。

9.國家災害防救中心，2015年蘇迪勒颱風災害調查彙整報告，民國104年11月。

10.交通部運輸研究所，臺東海岸公路溢淹及沿岸地形變遷特性研究，民國108年2月。

11.交通部運輸研究所，運輸物流供應鏈恢復力之研究，民國105年11月。

12.The News Lens 關鍵評論，海平面上升、海岸線後退，南迴公路壽命只剩50年，民國105年10月31日

表 5.3-5 平原公路系統面臨的潛在氣候衝擊綜理表

公路系統 尺度	公路系統組成	氣候壓力因素	對於公路系統的直接衝擊
路段	橋梁結構	強降雨	強風與極端降雨沖刷橋梁
		強風	強風影響橋梁結構
		暴潮	暴潮加劇橋墩的沖刷
	基礎/地表下	強降雨	路基受沖蝕掏空
		海平面上升	加劇路基的沖刷
	排水	強降雨	排水不良造成淹水
	橫斷面	強降雨	道路的橫斷面，面臨強風暴雨沖刷等影響
材料	高溫	鋪面材料軟化與標線融化 車輛輪胎耗損率提升	
路廊	周邊環境	強降雨	地表逕流或河川溢淹造成路廊淹水
路網	替代道路	強降雨	替代道路數量低，強降雨時可能面臨運輸中斷
		暴潮	海浪越堤溢淹災害，海岸線退縮，淘刷公路底部基座
		海平面上升	道路或替代道路被淹沒
	交通場站	強降雨	交通場站聯外道路淹水，造成運輸中斷
		暴潮	交通場站聯外道路淹水，造成運輸中斷

資料來源：National Cooperative Highway Research Program, Climate Change, Extreme Weather Events, and the Highway System: Practitioner's Guide and Research Report, 2014.、CEDR Transnational Road Research Programme, ROADAPT Roads for today, adapted for tomorrow Guidelines、公路系統設施權責機關構訪談等綜整。

### 5.3.5 影響山區公路系統的韌性因素分析與調適方法

經由 5.3.4 節綜理得出國內山區公路系統所面臨的氣候壓力因素主要為強降雨、強風及高溫。本小節進一步探討在強降雨、強風及高溫 3 種氣候壓力因素作用下，從各種尺度（路段、路廊及路網）觀點研析山區公路系統可能面臨的氣候衝擊、影響公路系統韌性的其他潛在因素以及對應的調適方法。說明如下：

#### 1. 山區公路-面臨強降雨之氣候衝擊鏈分析（參見圖 5.3.7）

強降雨加劇可能造成山區公路系統在不同尺度下（路段、路廊及路網）的氣候衝擊。

在路段尺度可能加劇橋梁受沖刷或道路的橫斷面面臨暴雨沖刷，以及排水不良造成淹水；路廊尺度可能造成路廊邊坡坍塌或因地表逕流溢淹，影響周邊排水系統；路網尺度則可能因替代道路數不足，造成路網連通性受阻或交通場站聯外道路淹水，造成運輸中斷。

此外，若山區公路系統位於如土石流潛勢區（暴露因素）或其本身為山區唯一維生聯外道路等（脆弱因素），將會加劇氣候衝擊的影響程度。

針對強降雨可因應的調適方法類型包含迴避、調整、保護、搬遷及調適管理。在路段尺度可透過建造一座橋跨越滑坡或建造隧道，防止土石流事件影響道路；在路廊尺度可安裝邊坡防護結構或恢復邊坡植被等方式穩定邊坡；在路網尺度則可透過整合協調周邊排水系統，或實施分階段緩解措施並持續監控該措施結果，以確定是否需要採取進一步措施。

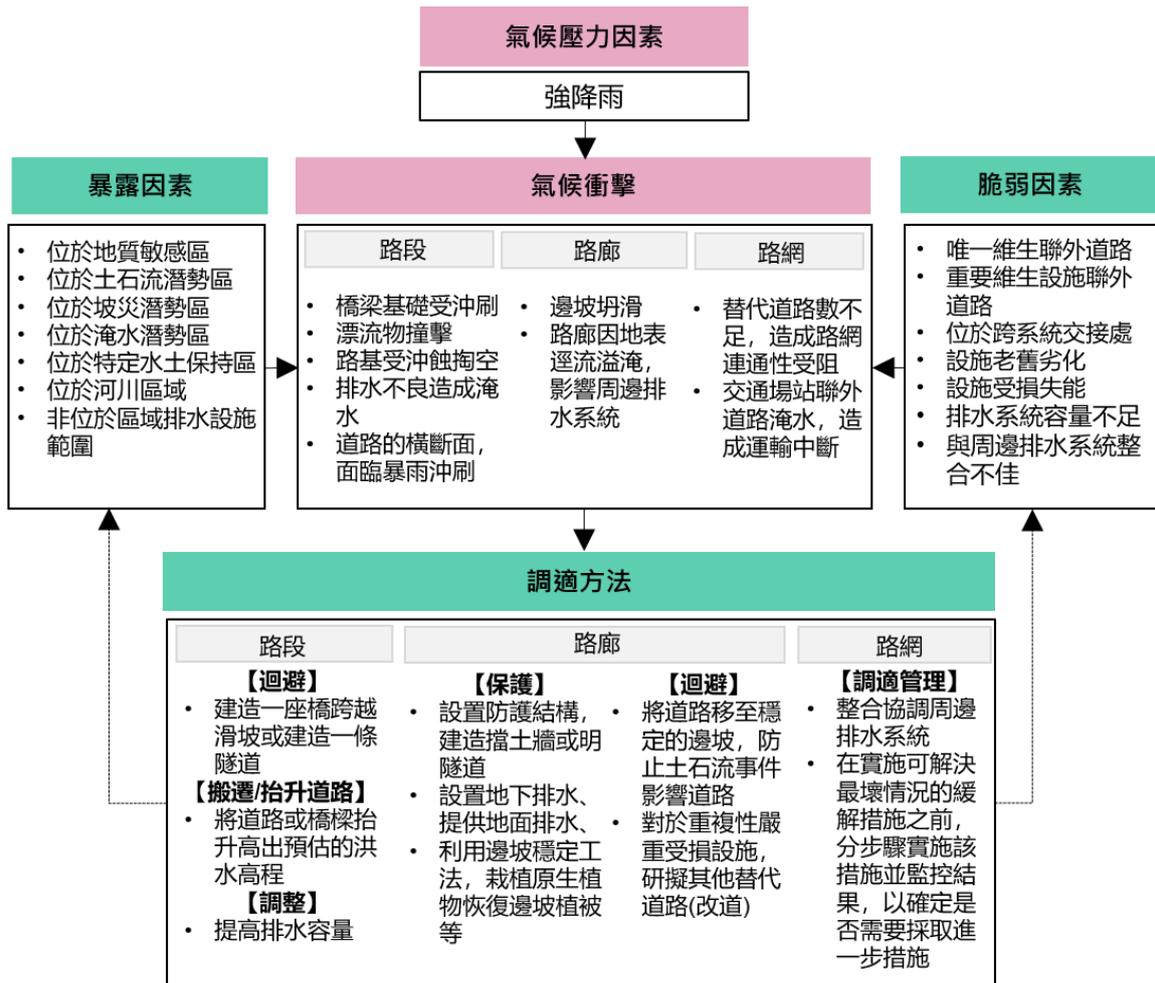


圖 5.3.7 公路系統規劃階段氣候衝擊鏈分析圖-山區公路（強降雨）

## 2. 山區公路-面臨強風之氣候衝擊鏈分析（參見圖 5.3.8）

強風加劇可能造成山區公路在不同尺度下（路段、路廊及路網）的氣候衝擊。

在路段尺度，強風可能影響橋梁結構；在路廊尺度可能造成路樹傾倒道路中斷或電線桿傾倒造成停電；在路網尺度則可能因號誌吹毀影響路口交通安全等。

此外，若山區公路系統位於坡災潛勢區（暴露因素）或其本身設施老舊劣化等（脆弱因素），將會加劇氣候衝擊的影響程度。

對於強風可能產生的氣候衝擊可因應的調適方法類型包含調整、保護及調適管理。在路段尺度透過修改橋梁設計規格以減輕強風可能造成的影響；在路廊尺度可安裝防護結構，建造擋土牆或明隧道；在路網尺度則可透過分階段實施緩解措施等，逐步排除道路中斷及交通設備故障等問題。

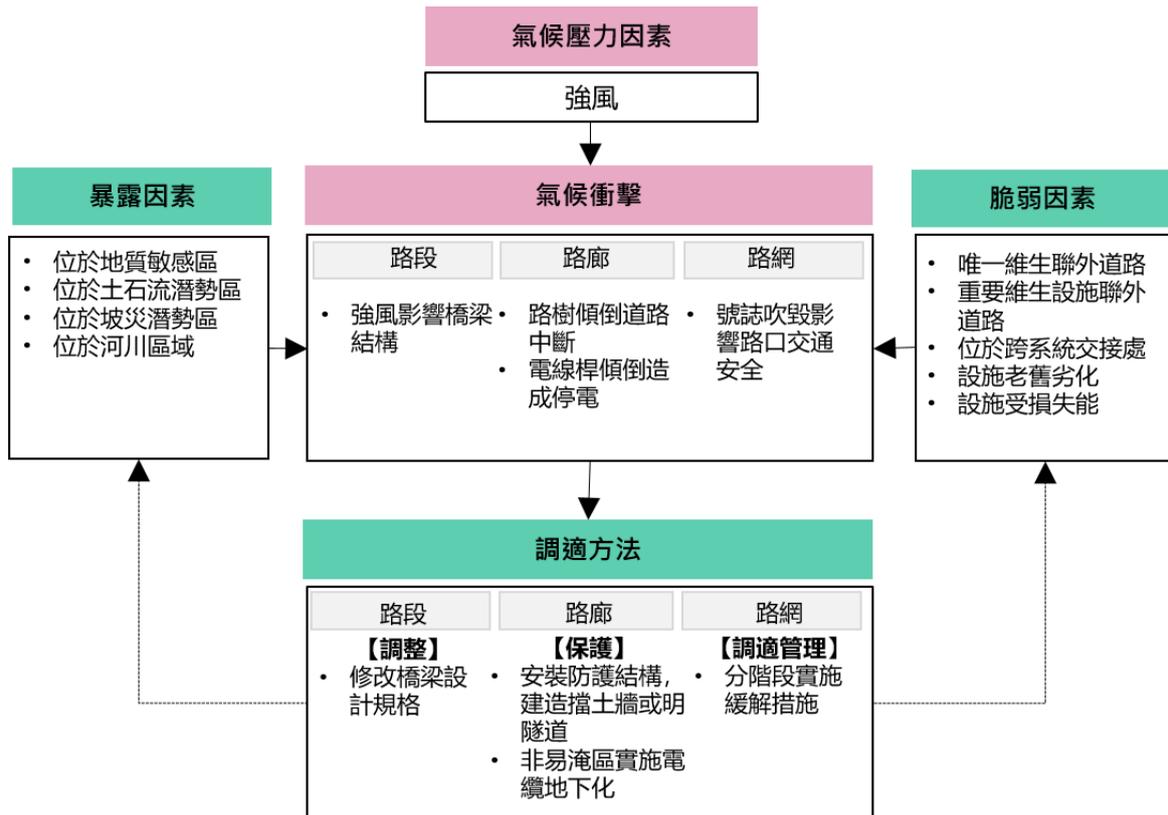


圖 5.3.8 公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖-山區公路（強風）

### 3. 山區公路-面臨高溫下之氣候衝擊鏈分析（參見圖 5.3.9）

高溫加劇對山區公路在不同尺度(路段、路廊及路網)將造成氣候衝擊。

在路段尺度可能造成鋪面材料軟化及道路標線融化難以辨認；在路廊尺度可能因邊坡野火造成邊坡崩落或野火濃煙影響視線；在路網尺度則可能因高溫導致設備故障影響交通安全。

此外，若山區公路系統位於極端高溫可能發生地區（暴露因素）或其本身為重要維生聯外道路等（脆弱因素），將會加劇氣候衝擊的影響程度。

針對高溫可因應的調適方法類型包含調整及調適管理。在路段尺度可調整鋪面結構設計，修改路面和基質的厚度和材料或依據未來的溫度預測，調整瀝青粘合劑等級等；在路網尺度可透過分階段實施緩解措施等逐步排除交通設備故障等問題。

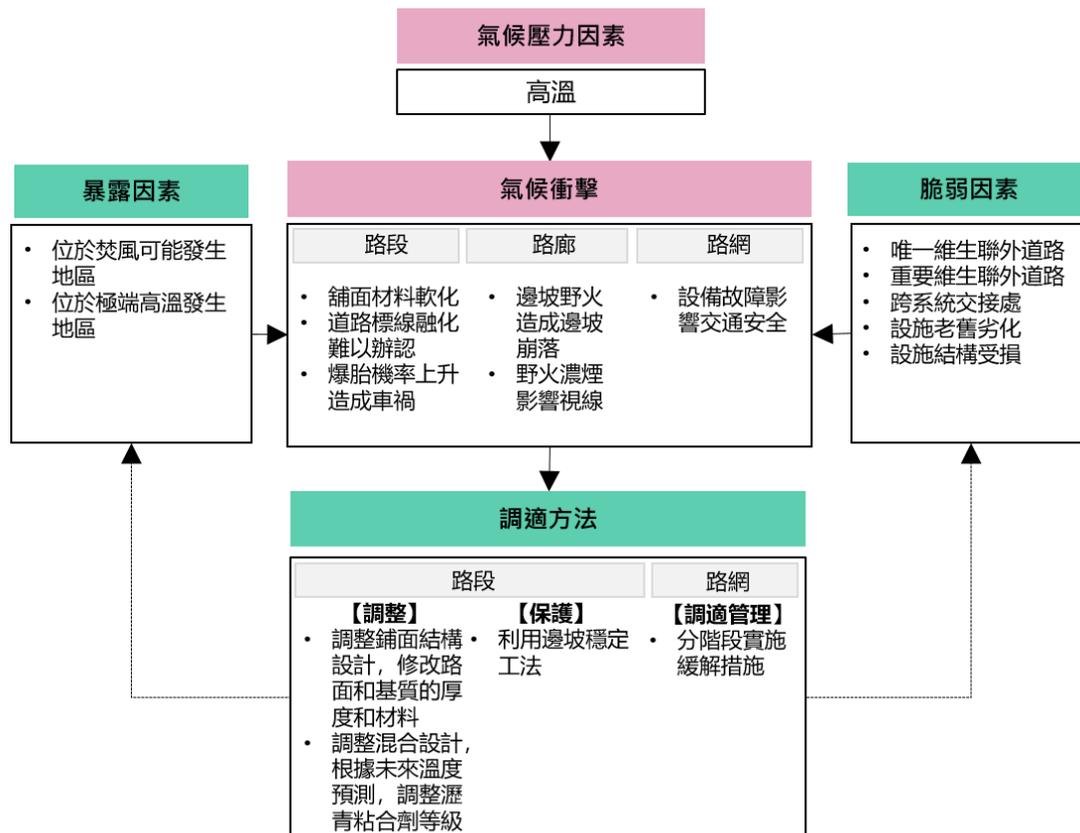


圖 5.3.9 公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖-山區公路（高溫）

從上述 3 張山區公路氣候衝擊分析圖可見，相較於其他氣候壓力因素，山區公路所面臨的強降雨加劇可能造成之氣候衝擊影響層面較多且可因應的調適方法也較為多元，加上國內山區公路的暴露因素與脆弱因素，亦可能加劇強降雨衝擊對於山區公路的影響程度。

此外，本計畫透過訪談、工作坊與座談會等方式與專家學者、公路設施機關與跨系統交界處主管機關進行氣候衝擊分析之綜合討論。公路專家和公路設施主管機關皆指出相較於其他氣候壓力因素，強降雨加劇對於山區公路的衝擊影響最為劇烈，也是國內公路系統目前應優先處理且急迫性高之極端氣候課題。

### 5.3.6 影響平原公路系統的韌性因素分析與調適方法

經由 5.3.4 節綜理得出國內平原公路系統所面臨的氣候壓力因素主要為強降雨、強風、高溫、暴潮及海平面上升。本小節進一步分別探討在強降雨、強風、高溫、暴潮及海平面上升之氣候壓力作用下，從各種尺度（路段、路廊及路網）研析平原公路系統可能面臨的氣候衝擊、影響公路系統韌性的其他潛在因素以及對應的調適方法。說明如下：

#### 1. 平原公路-面臨強降雨之氣候衝擊鏈分析（參見圖 5.3.10）

強降雨加劇對平原公路在不同尺度下（路段、路廊及路網）將造成氣候衝擊。

在路段尺度可能造成橋梁受沖刷，以及排水不良造成淹水；路廊尺度可能因地表逕流、河川溢淹或海水倒灌造成路廊淹水；路網尺度則可能因替代道路數不足，造成路網連通性受阻或交通場站聯外道路淹水，造成運輸中斷。

此外，若公路系統位於淹水潛勢區、河川區域或嚴重地層下陷區，以及公路系統本身服務都會區或居住人口密集的地區等因素，均會決定氣候衝擊的影響程度。

針對強降雨可因應的調適方法類型包含迴避、調整、保護、搬遷、增加備援及調適管理。在路段尺度可將道路或橋梁抬升高出預估的洪水高程，以減少波浪抬升和洪水氾濫；在路廊尺度可透過改造現有的防洪基礎設施（例如調節池）以增加排水容量；在路網尺度則可透過整合協調周邊排水系統，或在更高的海拔高度上建立替代道路，以及在極端事件中重新規劃交通路線等方式逐步緩解因淹水造成公路系統運輸中斷問題。

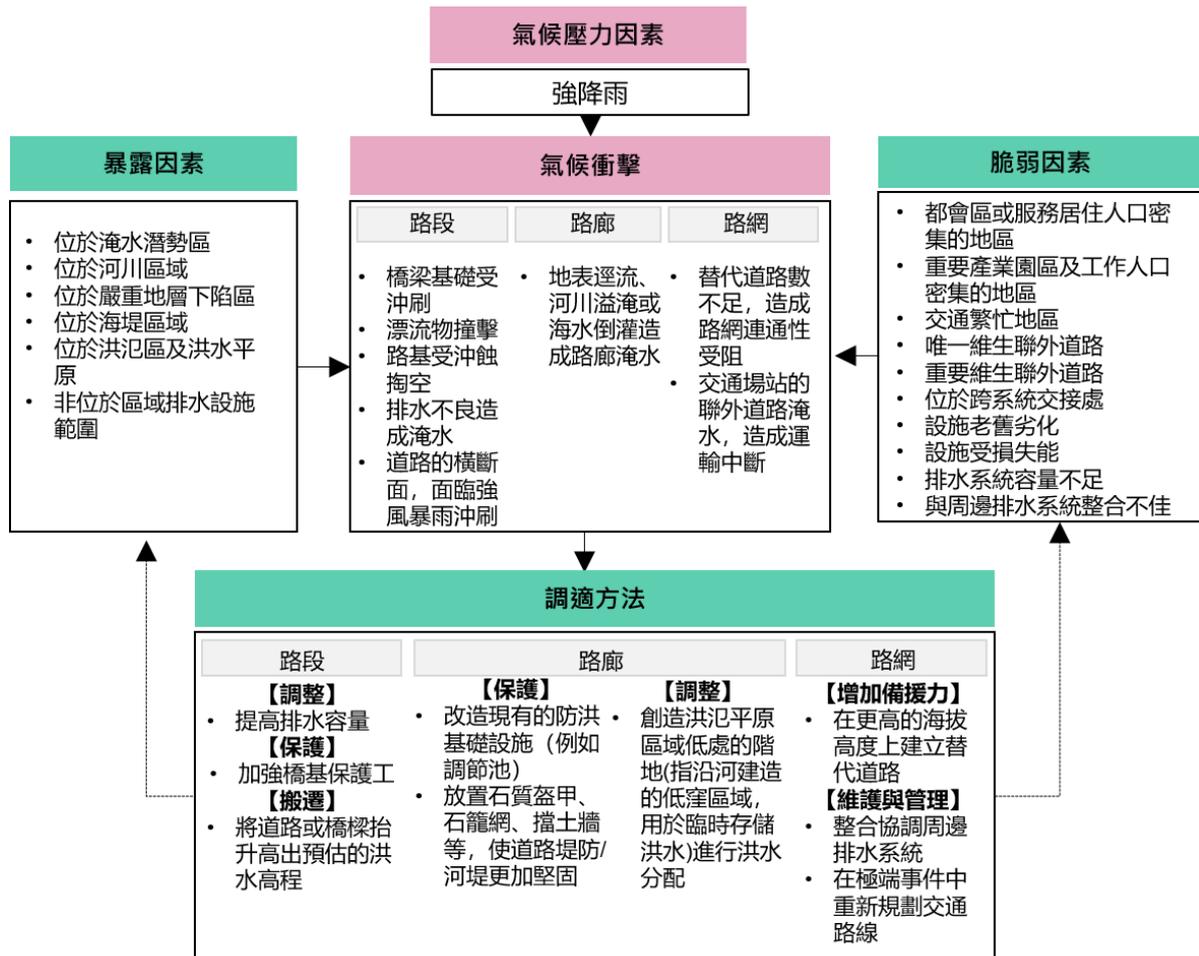


圖 5.3.10 公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖-平原公路（強降雨）

## 2. 平原公路-面臨強風之氣候衝擊鏈分析（參見圖 5.3.11）

強風加劇對平原公路在不同尺度下（路段、路廊及路網）將造成氣候衝擊。

在路段尺度可能影響橋梁結構；在路廊尺度可能造成路樹傾倒道路中斷；在路網尺度則可能因設備故障影響路口交通安全。

另外，若平原公路位於河川區域及海堤區域，強風對於公路系統可能造成的影響程度較高。

對於強風可能產生的氣候衝擊可因應的調適方法類型包含調整、保護及調適管理。在路段尺度透過修改橋梁設計規格以減輕強風造成的影響；在路廊尺度可安裝防護結構，建造擋土牆或明隧道，避免路樹傾倒造成道路中斷；在路網尺度則可透過分階段實施緩解措施逐步減緩氣候衝擊。

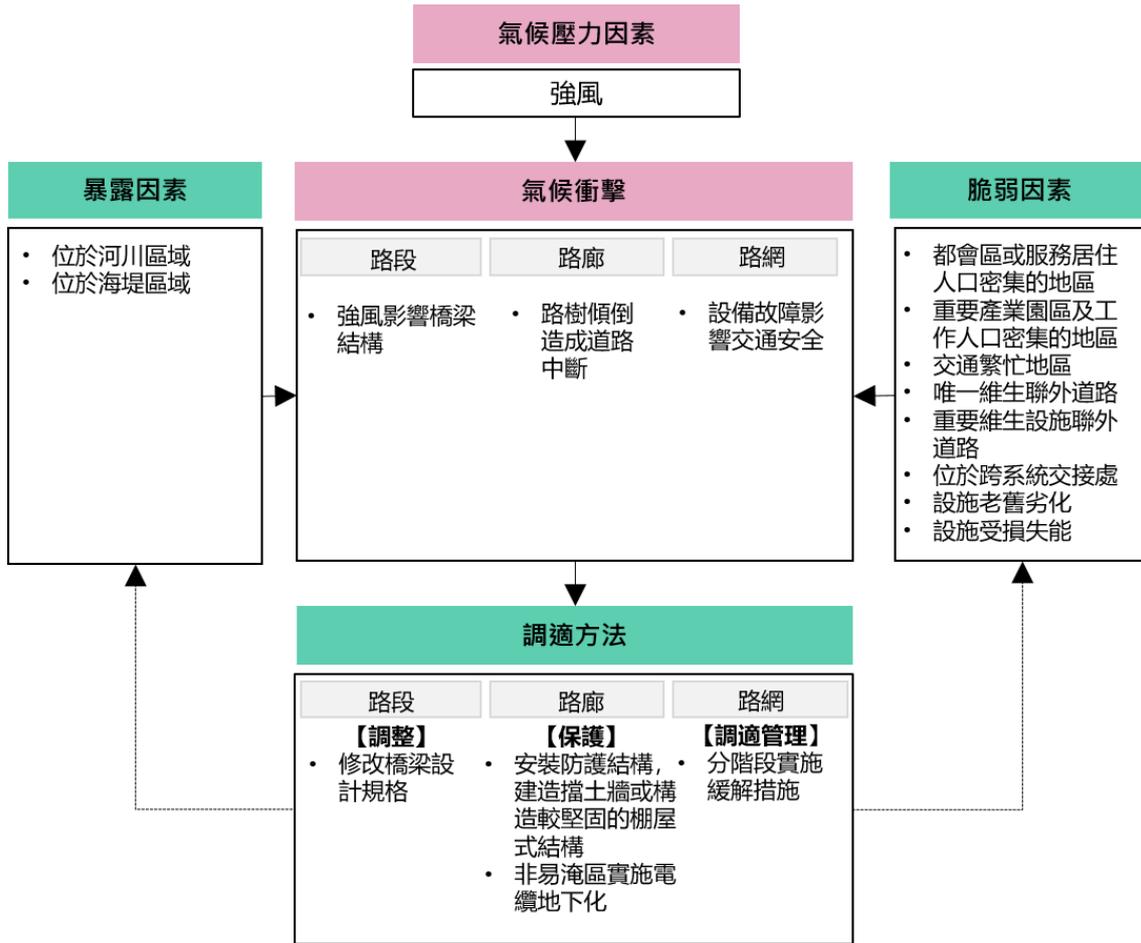


圖 5.3.11 公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖-平原公路（強風）

### 3. 平原公路-面臨高溫之氣候衝擊鏈分析（參見圖 5.3.12）

高溫加劇對平原公路在不同尺度下（路段、路廊及路網）將造成氣候衝擊。

在路段尺度可能造成鋪面材料軟化或道路標線融化難以辨認；在路網尺度則可能因高溫導致設備故障，影響路口交通安全等。

對於高溫可能產生的氣候衝擊可因應的調適方法類型包含調及調適管理。路段尺度可透過調整道路鋪面結構設計，修改路面和基質的厚度和材料或依據未來的溫度預測，調整瀝青粘合劑等級；在路網尺度可透過分階段實施緩解措施等逐步排除交通設備故障問題。

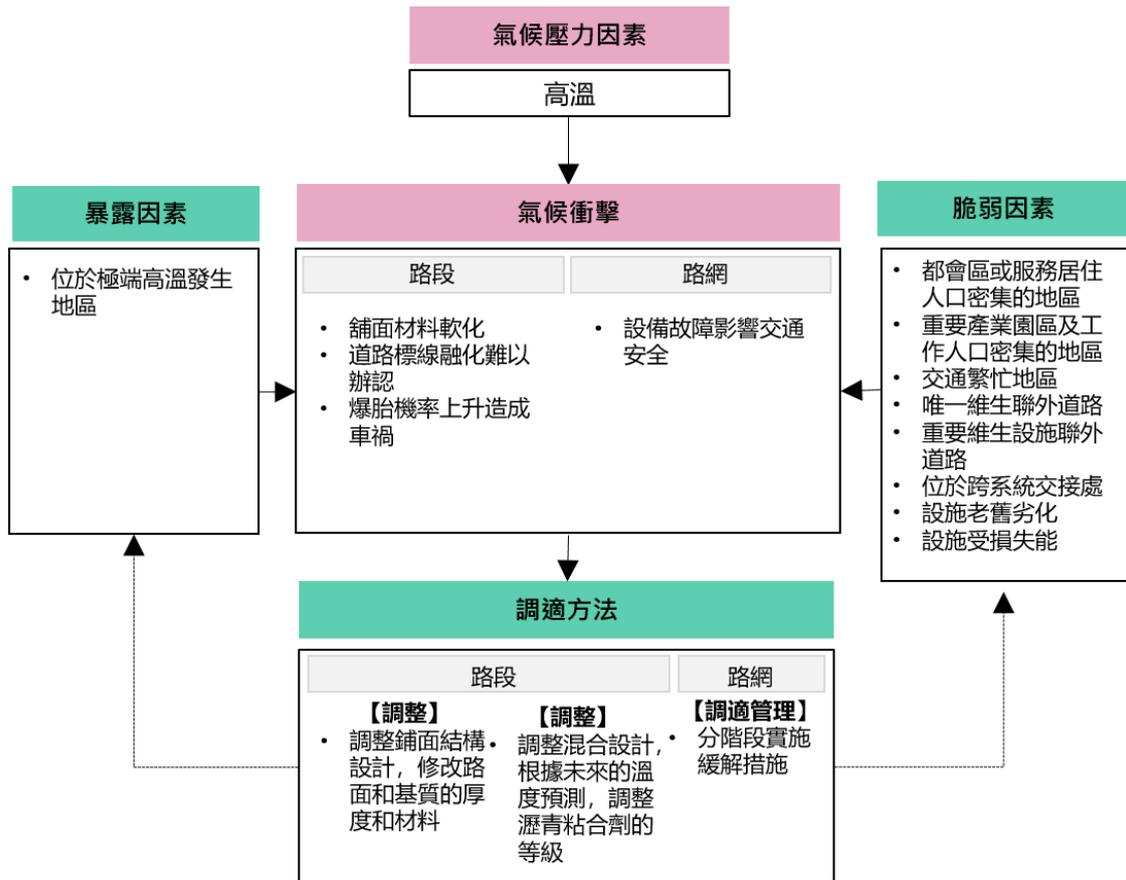


圖 5.3.12 公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖-平原公路（高溫）

#### 4. 平原公路-面臨暴潮及海平面上升之氣候衝擊鏈分析（參見圖 5.3.13）

暴潮及海平面上升加劇對平原公路在不同尺度下（路段、路廊及路網）將造成氣候衝擊。

在路段尺度可能造成強浪影響橋梁結構或暴潮加劇橋梁沖刷；在路廊尺度可能造成強浪侵襲造成淹溢或長期侵蝕造成海岸退縮因而路基遭強浪掏刷；在路網尺度則可能因替代道路數不足，造成路網連通性受阻等。

另外，若平原公路位於海堤區域及沿海嚴重地層下陷區，暴潮及海平面上升對於公路系統可能造成的影響程度較高。

對於暴潮及海平面上升可能產生的氣候衝擊可因應的調適方法類型包含調整、保護、增加備援及維護與管理。在路段尺度可透過改進護岸，增加沿海橋橋面板標高，以防止浪湧造成損害；在路廊尺度可透過維護沿海道路護岸/防波堤以防止波浪破壞或定期進行海岸養灘或沙丘建設，以防止海岸線退縮造成路基被海浪破壞；在路網尺度則可透過更高的海拔高度上建立替代道路，以及在極端事件中重新規劃交通路線等方式逐步緩解公路系統運輸中斷問題。

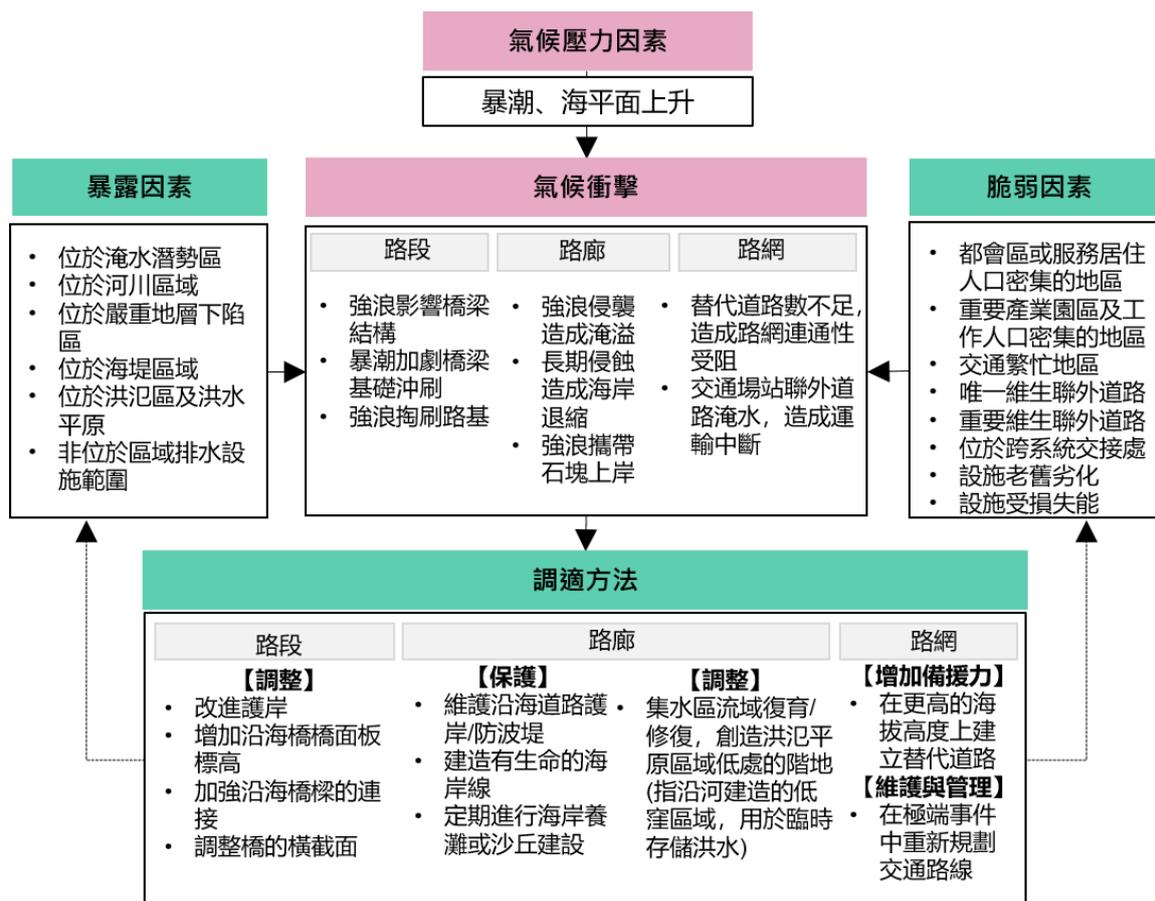


圖 5.3.13 公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖-平原公路（暴潮、海平面上升）

從上述 4 張平原公路系統氣候衝擊分析圖可見，平原公路所面臨的強降雨、暴潮及海平面上升加劇相較於其他氣候壓力因素（如高溫、強風），可能造成之氣候衝擊與調適方法面向皆更為多元。加上國內平原公路多位於沿海地區、都會區或服務居住人口密集區及重要產業園區等，一旦面臨強降雨、暴潮與海平面上升加劇衝擊，其影響程度更大、範圍更廣。

此外，本案透過訪談、工作坊與座談會等方式與專家學者、公路設施機關與跨系統交界處主管機關進行氣候衝擊分析之綜合討論。公路專家和公路設施主管機關皆指出相較於其他氣候壓力因素，強降雨加劇對於國內公路系統的衝擊影響最為劇烈，是目前應優先處理且急迫性高之極端氣候課題。

## 5.4 強降雨加劇對公路系統交界處之衝擊與協調機制

在面臨極端事件衝擊時，運輸系統間可能相互影響，導致系統無法正常營運。為解決跨公路運輸系統介面之調適課題，需先掌握受衝擊的點位。以下以本所的重大鐵公路風險地圖盤點國道、省道與快速公路等設施跨系統介面的高淹水風險路段，做為公路系統強化調適能力方向的基礎參考資料，從而分析公路系統交界處的淹水類型與成因，進而研提溝通與協調機制。

### 5.4.1 公路系統交界處的高淹水風險點位分析

#### 1. 國道交流道與省道、快速系統間之中高淹水風險以上之衝擊處

挑選全臺國道交流道，以 500 公尺服務半徑劃設環域範圍，並挑選出位於範圍之快速公路、省道路段，篩選高風險淹水路段，指認出國道交流道與公路系統間之中高淹水風險以上之衝擊處，國道交流道與省道交界處高風險淹水分布多位於國 1 與國 3。

#### 2. 快速公路交流道與公路系統交界處的淹水衝擊

挑選全臺快速公路交流道，以 500 公尺服務半徑劃設環域範圍，並挑選出位於範圍之快速公路、省道路段，進一步篩選出具有中高淹水風險與高風險之路段，指認出快速公路交流道與公路系統間之高淹水風險以上之衝擊處，快速公路與省道交界處高風險淹水分布多位於台 15 線、台 17 線與台 61 線。

### 5.4.2 公路系統交界處的淹水類型與成因

交界處的強降雨衝擊上存在著路權外的課題，因路權內的課題可逐一解決，路權外則涉及與其他機關（構）或民眾的溝通協調的工作。

因強降雨造成的淹水可分為兩種類型：

#### 1. 內水淹水

強降雨發生時，因地勢平坦、排水系統不良，或降雨量超出排水系統設計標準，造成局部之積淹水，待降雨結束後淹水便逐漸消退，其淹水區域與降雨區域之重合度較高。

權責機關包含：高公局、公路總局、營建署、地方政府。

## 2. 外水淹水

河川上游集水區發生豪雨/暴雨時，當洪峰流量超出堤防設計標準，河川水位暴漲而溢堤或潰堤，以致洪水進入堤防保護區內。此類淹水經常發生於河川下游地勢較平坦之地區。此類型之淹水區域與最大降雨區域未必相同。

權責機關包含：高公局、公路總局、水利署、地方政府。

### 5.4.3 公路系統間交界處強降雨衝擊之溝通與協調機制

公路系統間交界處多涉及跨部會協調溝通，水利署為因應氣候變遷造成的極端降雨事件，於民國 107 年 6 月 20 日於《水利法》增訂「逕流分擔與出流管制」專章，並於 108 年 2 月 1 日施行，其目的在於規劃土地共同分擔降雨逕流，有效提升土地耐淹能力，圖 5.4.1 為逕流分擔與出流管制概念說明圖。

由於《水利法》已然建立各種開發建設計畫的防洪耐淹機制，且正式推動多時，建議公路系統交界處所面臨強降雨衝擊造成的淹水問題亦可善用該法定機制進行協調。表 5.4-1 說明不同淹水類型可於規劃階段應用之溝通及協調機制。

以下將公路系統間交界處淹水類型分為「內水淹水」與「外水淹水」兩種類型，分別說明如何於規劃階段透過「逕流分擔」與「出流管制」之法定機制進行跨部會協調。

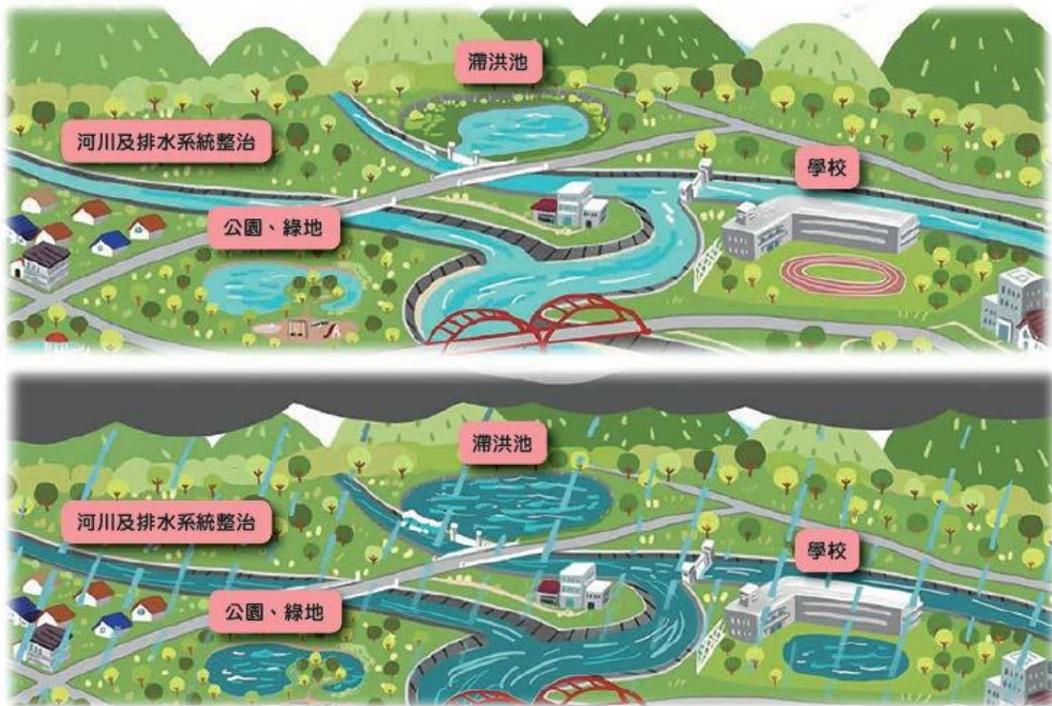
表 5.4-1 公路系統間交界處強降雨衝擊之溝通及協調機制

交界處淹水類型	交界處淹水類型說明	公路系統規劃階段之溝通及協調機制	權責機關
內水淹水	因排水系統不良或降雨量超出排水系統設計標準，造成局部之積淹水	■ 出流管制計畫 開發規模超過 2 公頃，共 21 種土地開發樣態，其中包含公路、鐵路及大眾捷運運輸系統之開發	■ 公路總局 ■ 高公局 ■ 水利署
外水淹水	當洪峰流量超出堤防設計標準，河川水位暴漲而溢堤或潰堤，以致洪水進入堤防保護區內	■ 逕流分擔計畫 目前尚未公告河川特定流域排水集水區域為逕流分擔實施範圍	■ 水利署 ■ 地方政府

資料來源：本計畫彙整。

## 逕流分擔概念圖

使公共設施能兼具有滯洪功能，  
讓雨水不立即進入河川及排水系統，  
土地與水道共同分擔降雨逕流

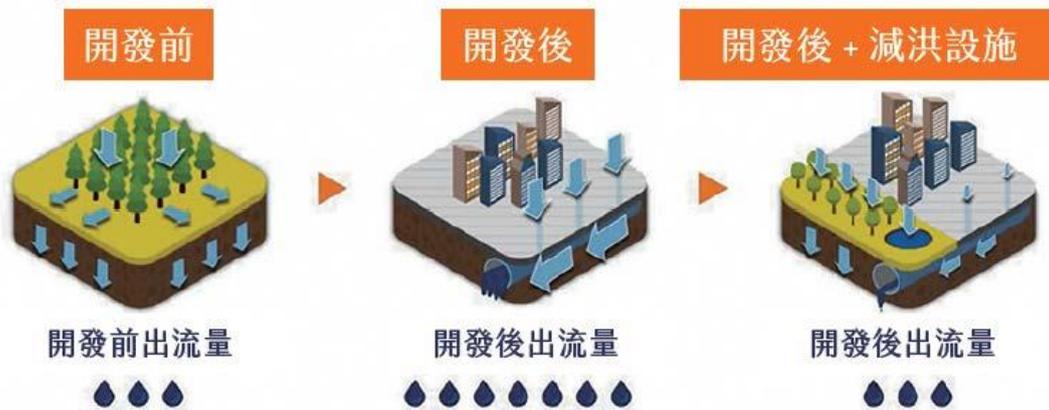


## 出流管制概念圖

開發單位於基地內設置出流管制設施  
自行吸收因開發所增加之洪水量

## 出流管制

消減開發所增逕流  
減少土地淹水風險



資料來源：經濟部水利署。

圖 5.4.1 逕流分擔與出流管制概念圖

## 1. 出流管制計畫

為避免因人為土地開發增加附近淹水風險，《水利法》訂有出流管理事項。公路主管機關若符合實施條件需承擔因開發所增加之逕流量（第 83-7~83-13 條），由土地開發義務人於基地內設置出流管制設施自行吸收因開發所增加之洪水量。

就公路系統而言，公路系統規劃階段應送出流管制規劃書至水利署審核，實施出流管制之說明如下：

### (1) 實施條件

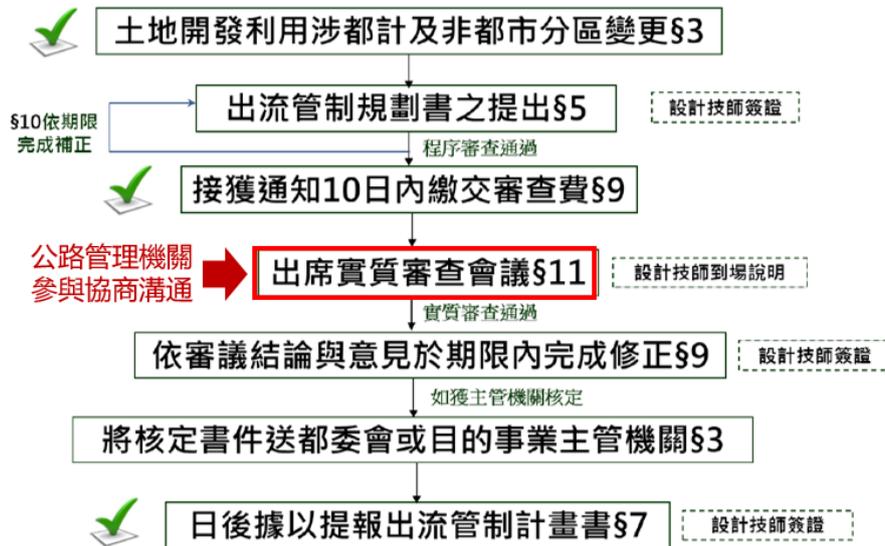
- ① 面積達 2 公頃以上之土地開發利用，共 21 種土地開發樣態，其中包含公路、鐵路及大眾捷運運輸系統之開發（屬地下化或隧道工程者，該面積不納入計算；屬高架化者，位於既有公路上方之面積不納入計算）。
- ② 土地開發利用面積計算標準，以目的事業主管機關所送開發計畫或變更使用計畫之計畫面積為計算標準。如未涉及開發計畫及變更使用計畫者，以工程實際變動範圍計算。
- ③ 規劃階段先送出流管制規劃書，設計工程階段再送出流管制計畫書，審核監督及免辦認定流程如圖 5.4.2 所示。
  - a. 出流管制規劃書：載明減洪方案，確保土地變更階段留設足夠滯洪空間，僅涉都計或非都分區變更才須提送。
  - b. 出流管制計畫書：除減洪方案外，並載明其工程計畫及使用、管理與維護計畫，各土地開發案均需提出。

### (2) 出流管制規劃書審核機制

依據「出流管制計畫書與規劃書審核監督及免辦認定辦法」第二條第二項規定，「前項規定之開發樣態，義務人應依目的事業主管機關指定之時間，向目的事業主管機關提出出流管制計畫書」。

涉及公路系統交界處之主要土地開發義務人（中央、地方機關）與目的事業主管機關（交通部、直轄市、縣/市政府），各角色於出流管制規劃書審核階段之機制流程如圖 5.4.2 所示。

若為中央機關辦理案件，由中央主管機關受理審查，故公路管理機關擬於出流管制規劃書提出後，透過實質審查會議與水利署進行跨部會之溝通及協調。



資料來源：經濟部水利署；本計畫彙整。

圖 5.4.2 出流管制規劃書審核階段義務人及技師辦理工作

### (3) 現況問題與改善建議

綜整公路機關訪談與專家學者座談會討論意見，目前在實務操作上執行出流管制面臨的問題與建議改善方向說明如下：

- ① 整體規劃需一致：道路淹水通常是強降雨造成排水不及，對此問題區域排水是核心關鍵，建議透過整體規劃來改善。
- ② 經費支出增加：出流管制措施實務操作上有一定難度，因公路規劃與建設需涉及土地徵收及工程設計等問題，導入出流管制措施增加財務支出或預算編列提高，導致計畫執行困難，建議透過滾動檢討計畫內容以及出流管制的機制謀求解決。

## 2. 逕流分擔計畫

為使公共設施能兼具滯洪功能，延遲降雨逕流進入河川，讓土地與水道共同分擔降雨逕流，提升土地容洪能力，有效調適氣候變遷可能帶來的淹水災害，降低淹水風險，水利法訂有逕流分擔管理事項（第 83-2~83-6 條）。

### (1) 實施條件

河川流域或區域排水集水區域範圍內，其住宅或產業活動屬高密度發展地區，無法僅以傳統之拓寬水道、疏浚水道及加高堤防等水道治理方式改善洪澇，且有下列情形之一者，主管機關得實施逕流分擔，以降低災害，提升防護能力。

- ① 因氣候變遷極端降雨強度增加，造成地表逕流超出治理計畫之水道計畫洪水量或超出排水系統之排洪能力而有溢淹之風險。
- ② 都市發展範圍快速擴張或重大建設計畫，原規劃排洪設施不足以因應，致有提高地區保護標準之必要。
- ③ 地表逕流受限於低地地形無法排入河川或區域排水，致重複發生積潦災害情形。

### (2) 逕流分擔審定公告及執行流程

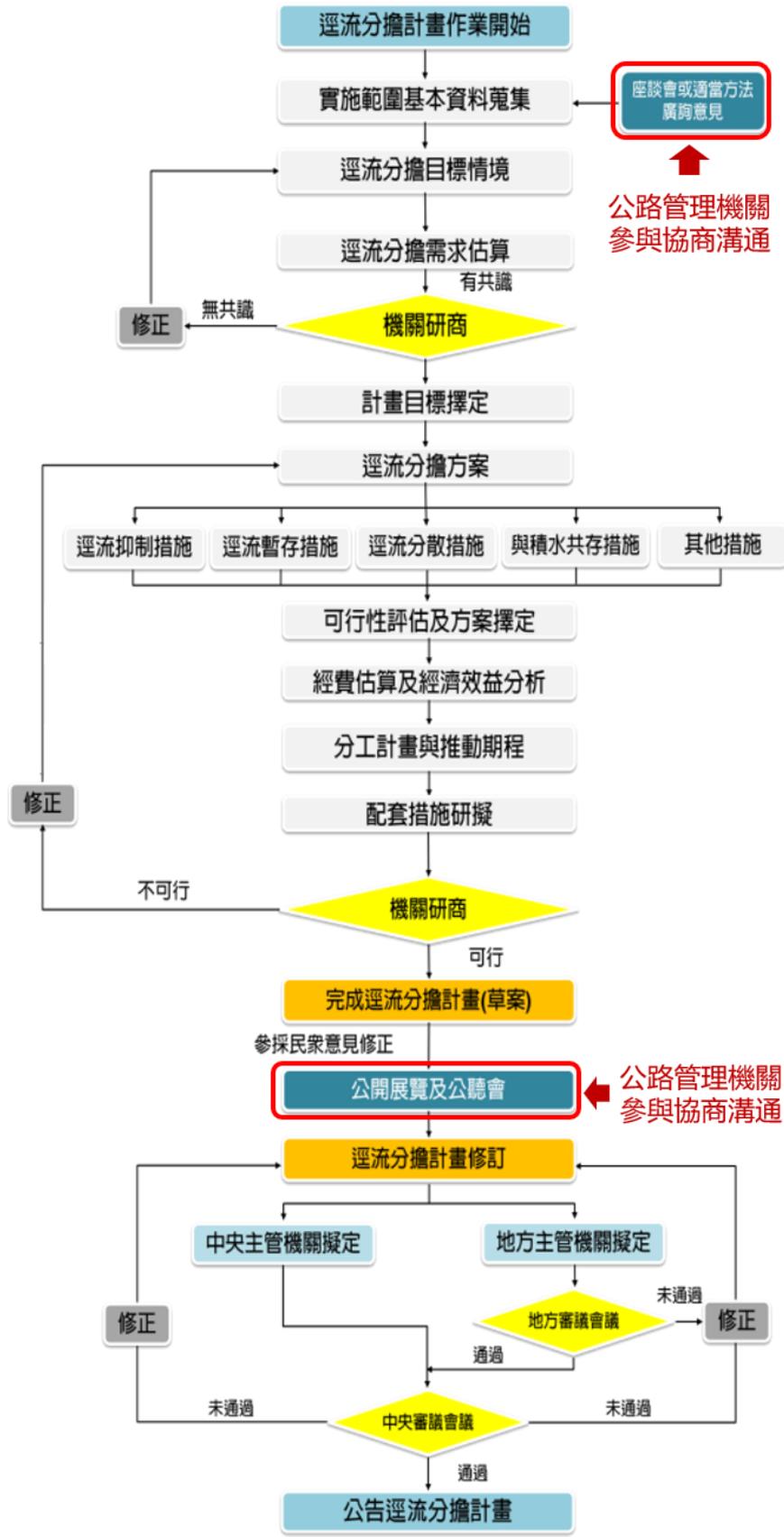
主要執行單位為經濟部水利署與各級主管機關，公路系統機關為意見提供與配合執行單位。由經濟部水利署擬定、審議、核定與公告，各級主管機關擬定、審議與執行，基本資料蒐集階段邀集農田排水、水土保持、森林、下水道、都市計畫、地政或其他相關目的事業主管機關、直轄市或縣（市）政府、學者、專家或團體等舉辦座談會，或以其他適當方法廣詢意見，以為擬訂計畫之參考。

逕流分擔實施範圍與計畫之審定公告及執行辦法流程如圖 5.4.3 所示。公路系統機關可透過座談會、公開展覽及公聽會或適當方法表達意見，待公告後將配合計畫執行。

### (3) 現況問題與改善建議

目前尚未公告河川特定流域排水集水區域為逕流分擔實施範圍，實務操作上之問題待日後續蒐整並提出實質改善建議。

由於逕流分擔審定公告及執行辦法流程頗長且工作內容繁複，為縮短分析評估與溝通過程時程，建議主管機關可持續建立較為妥適之氣候變遷風險評估方法與強化利益相關人溝通機制，以做為決策之參考依據。



資料來源：經濟部水利署；本計畫彙整。

圖 5.4.3 逕流分擔實施計畫之審定公告及執行辦法流程圖

## 第六章 結論與建議

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

本計畫蒐集國際氣候變遷調適新趨勢及調適措施發展之案例，並檢視《行動方案（107-111）年》中運輸系統行動計畫之內容、透過訪談及問卷方式蒐集運輸設施管理機關（構）對調適策略之建議、未來調適之方向與新科技可提供的調適輔助，據以滾動檢討運輸系統調適策略，最後提出「提升衝擊耐受度、強化預警應變力、提高系統回復力、增進決策支援力」四大運輸系統調適策略及 15 項調適措施。

此外，針對公路系統規劃階段強化調適能力之探討，研擬公路系統規劃階段強化調適能力機制與方法，俾提升公路系統因應氣候變遷之調適能力；同時，協助各部屬設施管理機關（構）人員推動調適相關業務，持續辦理調適專業知識教育訓練工作。

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後續針對公路系統調適研究方向提供應用：

### 6.1 結論

#### 1. 滾動檢討提出新版運輸系統四大調適策略與 15 項調適措施

本計畫以 109 年度「運輸系統因應氣候變遷調適之研究」所研提之調適策略為基礎，綜合考量國際調適趨勢、運輸系統設施權責機關（構）當前之調適作為、策略推動課題及建議，滾動檢討並調整運輸系統調適策略。

依循《國家因應氣候變遷行動綱領》之指導，並參考《國家氣候變遷調適行動方案》，本計畫沿用 109 年計畫所設定之「建構具氣候變遷韌性的運輸系統」，並透過訪談、問卷及座談會等方式滾動檢討。110 年度調適涵蓋「提升衝擊耐受度、強化預警應變力、提高系統回復力、增進決策支援力」等四大策略，針對各項調適策略計提出 15 項調適措施，如圖 6.1.1。



圖 6.1.1 運輸系統氣候變遷調適四大策略及 15 項措施架構圖

## 2. 提出運輸系統調適計畫強化方向建議

藉由彙整及檢討我國現有運輸系統調適行動計畫，並依據國內外調適計畫研擬之相關指導原則，提出各運輸系統設施權責機關（構）研提新一期調適行動方案（112—116 年）時可強化之方向建議。

### (1) 強化計畫內容之完整性

調適計畫應包含：①組織透過調適計畫將達成的目標、②調適行動的理由、③調適行動的基本原理、④使用的假設、⑤不確定性的來源、⑥決策的方法、⑦決策所依據的資料與數據、⑧與既有政策與策略的關係、⑨優先採取的行動與其效果、⑩如何解決最急迫的氣候衝擊與相關的計畫、⑪調適計畫的時限，以上 11 點方構成完整的調適計畫。

### (2) 強化計畫之範疇界定

需界定調適計畫的範疇並強化組織本身與其營運系統的韌性。

### (3) 加強說明零方案之調適能力

需說明未執行調適措施前的設施調適能力基準，俾利檢視及比較調適措施執行後之設施調適能力改善幅度。

(4) 加強說明氣候變遷資訊及情境

需說明氣候變遷資訊，包含歷史、現況與未來的溫室氣體排放之情境與其他應用的情境。

(5) 加強說明氣候變遷衝擊

需說明氣候變遷對歷史、現況與未來之衝擊，包含負面與正面，直接、間接與系統性的衝擊（活動、產品與服務）。

(6) 加強組織調適能力探討

說明組織現況調適能力、執行調適計畫所需之能力差距以及如何將調適納入組織政策、策略與計畫。

(7) 加強調適計畫監控、評估與溝通概念

如執行上需要將調適計畫轉化為實際調適行動，需確切執行調適活動的監控，並評估投入、產出與資源分配等，以確保執行的調適行動計畫可達到預期的效果，或是效果不彰的時候調整做法，以達計畫所設定目標。

(8) 加強利害關係人參與

需與利害關係人溝通與分享調適計畫執行與成果，以獲得利害關係人的支持與合作。

(9) 加強氣候變遷風險評估

參考《ISO 14091 氣候變遷調適－脆弱度、衝擊與風險評估指引》進行氣候變遷風險評估，其前置作業流程依序為：界定脈絡、辨識目標與期望的成果，後訂定範疇與方法；風險評估流程如下：①篩選衝擊與研擬衝擊鏈、②辨識指標、③取得與管理數據、④聚合指標與風險組、⑤評估調適能力、⑥解析與評估發現、⑦分析跨部門依賴性、⑧報告與溝通氣候變遷風險評估結果。

(10) 加強跨部會合作

需強化跨部會不同領域與系統間之協調合作，如交通部、科技部、水利署、各交通設施機關等在研擬交通部調適行動方案相關策略與措施時，能建立順暢之溝通平台，強化跨領域與跨系統間之調適行動方案。

### (11) 辦理示範計畫

透過辦理示範計畫，建立具確實調適概念的成功參考案例，再逐步擴大辦理。

### (12) 配合行政院環境保護署通案性要求

應配合行政院環境保護署之通案性要求，研提新一期國家氣候變遷調適行動方案。

## 3. 研擬公路系統規劃階段強化調適能力機制與方法

欲提升公路設施於氣候變遷環境下的調適能力，應將氣候變遷因素納入既有規劃流程，以全生命週期概念強化系統調適能力，如避免高風險潛勢區域、提高設施衝擊耐受力等；既有公路系統規劃階段流程雖尚稱完善，惟未能系統化考量氣候變遷對設施與周邊區域的影響。本計畫參考國外公路系統氣候變遷調適手冊與指引，初步研提將氣候變遷的因素納入既有規劃流程的構想，並分階段說明如下：

#### (1) 第一階段：資料蒐集

建議於此階段納入未來氣候變遷情境與氣候資料蒐集與分析之工作，規劃團隊可就建設計畫所在區域未來可能遭遇之氣候變遷影響進行資料蒐集。依據各專案不同的環境區位特徵指認應納入考量的氣候參數，如降雨（強度與頻率）、溫度（最高溫、最低溫、均溫及天數）、風（平均風速、最大陣風、風向）、海平面（平均水平、漲潮、風暴潮）、流量（平均、最大和最小溪水位）等。

#### (2) 第二階段：方案研擬與評估

氣候變遷導致眾多氣候參數呈現年均值減少、增加或極端值推升的趨勢，故篩選影響公路服務年限的預估氣候數據為關鍵。此階段旨在辨識影響公路系統調適能力的氣候風險因素，俾利指認氣候變遷對本系統之關鍵影響與評估路線方案。

#### (3) 第三階段：工程研究與評估

於此階段納入氣候變遷風險評估作業，先就建設計畫設施之壽年與可取得之氣候數據資料設定評估期程（依據 ISO 14091 之建議，至少採取 30

年，如係壽年較長的設施，如橋梁，或評估變化較長期的氣候變遷因素，如海平面上升，則建議採取 100 年)。

風險評估作業由各工程面向考量與評估，並就辨識的各項風險建立風險基準。無超過風險基準需進入氣候變遷風險管理計畫之研議，以妥善因應風險；如有超過風險基準的風險項目，再就機關資源與預算決定維持原方案或研擬調適措施，如維持原方案，則進入氣候變遷風險管理計畫之研議，如研擬調適措施，則進行措施之研析及評估。

調適措施之類型包含：

- ① 彈性設計：包含備援系統或預留可因應未來氣候變遷調整的空間，例如預留車道空間，做為未來排水之用。
- ② 穩健調適：可因應未來氣候變遷的強健設施方案。
- ③ 觀察法：持續觀察環境變化與設施狀況，依序導入調適作為。
- ④ 低或無悔調適：因應現況環境且可為未來氣候變遷建立基礎。

調適措施之研析，將由效益、財務及技術可行性等面向綜合評估，分析措施實行的優先次序。

#### 4. 探討公路系統規劃階段韌性強度之因素

本計畫雖以規劃階段為題，但已考慮全生命週期的概念，故研究成果適用於新建及改建計畫。研究內容說明如下：

##### (1) 研析流程

本計畫為追求更明確、更實用的研究成果，於進行研究之初先對此項研究命題進行解析，依據解析的結果再逐項分析探究。同時，於過程中再輔以各種專家諮詢的程序，以期提高研究品質。本項議題的研析流程如下：

- ① 解析公路系統的概念及組成
- ② 掌握臺灣地區公路系統面臨的氣候壓力 (climate stressors)
- ③ 蒐集不同環境區位公路系統的氣候衝擊事件資料
- ④ 建構「氣候衝擊鏈」，分析影響公路系統韌性的因素
- ⑤ 專家、學者及機關諮詢
- ⑥ 研擬調適方法。

##### (2) 影響公路系統的韌性因素分析與調適方法研析

依據政府間氣候變遷專門委員會 (IPCC) 於第 5 次評估報告 (AR5) 所揭示的「氣候變遷調適」，其操作的核心概念係為「在氣候變遷的情境

之下對於『氣候衝擊風險』進行有效的管理」。AR5 進一步指出「氣候衝擊風險」取決於 3 種主要因素 - 暴露度(exposure)、脆弱度(vulnerability)及危害度(hazard)，三種因素的交集決定了風險，風險的大小與內容係依據三者的互動關係來決定。

## 5. 建構國內公路系統氣候衝擊鏈分析方法

「氣候衝擊鏈」(impact chains)之建構方法則是依據 IPCC AR5 以及 ISO 14090 的指引，並參考日本獨立行政法人國際協力機構(JICA)於 2019 年訂定之《氣候風險評估及調適指南》，建構國內公路系統的氣候衝擊鏈(參見前文圖 5.3.3)，針對不同的氣候壓力，考量不同環境區位條件，考量各種公路系統尺度觀點研析影響公路系統韌性強度之因素，並據以研擬對應的調適方法。分析項目包含：

- ① 氣候壓力因素：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。影響臺灣公路系統之五大氣候壓力因素包含：強降雨、強風、高溫、暴潮、海平面上升。
- ② 暴露因素：公路系統位於易受衝擊的地區(例如，淹水潛勢區、地質敏感區或坡災潛勢區等)。
- ③ 脆弱因素：公路系統本身容易受衝擊的特性，以及一旦失能可能影響的範圍及程度(例如，唯一維生聯外道路)。

## 6. 提出調適行動六大步驟建議

為協助運輸系統設施權責機關研提與推動國家氣候變遷調適行動方案，本計畫提出調適行動六大步驟如下：

- ① 編列調適預算
- ② 盤點與掌握氣候衝擊資料
- ③ 訂定風險評估方法
- ④ 盤點調適缺口
- ⑤ 研擬與推動調適計畫
- ⑥ 監控調適計畫

由於不同業務單位之需求及既有資源差異，六大步驟之順序僅供參考，建議實作時可視機關實際需要彈性調整作業順序。

## 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《溫室氣體減量及管理法修正草案總說明》之擬新增法條，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）參據：

- (1) 調適預算與資金需於國內部會中長期預算籌編，爭取足夠的資金推動政府調適計畫優先事項並滿足調適工作的需求

國內的調適計畫目前因運輸設施管理機關（構）預算有限，調適行動計畫與其他面向的行動計畫競爭資源，受預算研擬的流程與調適概念及知識尚未主流化的種種限制，尤其，調適行動計畫較不易反映短期效益，導致調適預算編列需著重長期效益說明，故需政府政策方向的引導，以推動預算編列及落實調適主流化

- (2) 調適思維的推動與主流化

除了政府的領導，設施管理機關（構）的認同與向心力一樣重要，透過工作坊、培訓及訂定規範等，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。

- (3) 以運輸系統調適四大策略推動引導

為能進一步引導海空運與鐵路個別運輸系統，建議設施管理機關（構）就本計畫研擬的四大策略與 15 項措施，盤點與辨別各自系統下目前推動調適的狀況與如何推動與加強推動各項措施。另外，建議設施管理機關（構）可參考本計畫提出運輸系統調適行動計畫強化方向之建議，研提新一期調適行動方案（112-116 年）。

#### (4) 建立調適計畫之監控、評估與學習機制

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

#### (5) 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。

#### (6) 善用數位科技提升調適能力

國內調適起步較晚，故可持續借鏡國外推動調適的經驗與技術，積極進行雙向交流與學習，以利提升國內調適能量。另外，也可善用數位科技持續提升國內調適技術，在氣候變遷環境下思考運輸產業可能的新作為。

### 2. 「公路系統規劃階段強化調適能力之探討」後續研究重點建議

為持續深化調適之科學研究並做為調適工作推動之基礎與參考，期能強化其上位指導功能，以利後續公路系統管理機關（構）、目的事業主管機關與相關機關（構）持續投入並提升調適能力：

#### (1) 聚焦國內公路系統目前急迫性高且關注度高之氣候變遷議題作深入探討

建議聚焦國內公路系統目前急迫性高且關注度高之氣候變遷議題深入探討，例如因氣候變遷加劇強降雨對山區公路系統衝擊。以強降雨對山區公路系統產生的氣候衝擊為研究主題，並考量強降雨可能造成複合性衝擊的議題，進一步研析影響其韌性因素與提出對應之調適方法。

## (2) 加強說明公路系統氣候衝擊鏈分析方法解析及應用

建議可運用實務案例加強說明如何操作及應用衝擊鏈分析方法，解析影響公路系統韌性強度之因素，包含氣候壓力因素（指強降雨、強風、高溫、暴潮、海平面上升）、暴露因素（指系統所在區位條件）與脆弱因素（指系統本身特性），以利於公路系統設施權責機關理解其關聯性，並於規劃階段著手思考對應的調適方法加以緩解或排除氣候衝擊。

## (3) 彙整強化公路系統規劃階段調適能力之上位指引

延續本期研究主題「強化公路系統規劃階段調適能力之機制與方法」，著手研提強化公路系統規劃階段調適能力上位指引，俾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。

## (4) 調適研究資料共享與互惠

因應氣候變遷之衝擊，許多部會亦積極辦理調適議題相關研究，建議未來本系列研究可強化與其他有關部會之交流（如科技部、經濟部水利署等），以跨部門研究成果厚植公路系統規劃階段強化調適能力的資源基礎。



## 參考文獻

1. 行政院環境保護署，國家溫室氣體減量法規資訊網，  
[https://ghgrule.epa.gov.tw/greenhouse/greenhouse\\_page/23](https://ghgrule.epa.gov.tw/greenhouse/greenhouse_page/23)，民國 110 年。
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. 國家發展委員會，國家氣候變調適政策綱領，民國 101 年。
5. 國家災害防救科技中心，臺灣氣候變遷科學報告 2017，民國 106 年。
6. 科技部、中央研究院環境變遷研究中心、交通部中央氣象局、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）之科學重點摘錄與臺灣氣候變遷評析更新報告，民國 110 年。
7. 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。
8. 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。
9. 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。
10. 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。
11. 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。
12. 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。
13. 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。
14. 交通部運輸研究所，運輸系統調適策略研究，民國 109 年。
15. 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。
16. the International Organization for Standardization, ISO 14090 Adaptation to climate change — Principles, requirements and guidelines, 2019.
17. Intergovernmental Panel on Climate Change, Fifth Assessment Report , 2014.

- 18.the International Organization for Standardization, ISO 14091 Adaptation to Climate Change—Guidelines on Vulnerability, Impacts and Risk Assessment, 2021.
- 19.European Commission, Forging a Climate-resilient Europe – the New EU Strategy on Adaptation to Climate Change, 2021.
- 20.Scottish Government, Climate Ready Scotland: Second Scottish Climate Change Adaptation Programme 2019-2024, 2019.
- 21.Department of Transport, Tourism and Sport, Transport Climate Change Sectoral Adaptation Plan, 2019.
- 22.Japan International Cooperation Agency, Guidance on Climate Risk Assessment and Adaptation, 2019.
- 23.Reeves, S., Winter, M., Leal, D., and Hewitt, A. May. Rail: An Industry Guide to Enhancing Resilience Primer. TRL and Resilience Shift, UK, 2019.
- 24.Weilant,S., Strong A., Miller, M. B., Incorporating Resilience into Transportation Planning and Assessment, Transportation Research Board, 2020.
25. National Cooperative Highway Research Program, Climate Change, Extreme Weather Events and the Highway System: A Practitioner’s Guide, 2014.
- 26.Conference of European Directors of Roads, Roadapt: Roads for Today, Adapted for Tomorrow Guidelines, 2015.
- 27.Federal Highway Administration, Synthesis of Approaches for Addressing Resilience in Project Development, 2017.
- 28.Engineers and Geoscientists British Columbia, Developing Climate Change-Resilient Designs for Highway Infrastructure in British Columbia , 2020.
- 29.交通部公路總局，公路分等級開發及復建之評估及建設準則，民國 102 年。
- 30.行政院國家科學委員會，極端氣候下臺灣橋梁防災之設計與考量，民國 105 年。

- 31.行政院國家科學委員會，複合型災害挑戰下之橋梁建設與延壽思維，民國 106 年。
- 32.經濟部水利署，因應氣候變遷防洪策略之排水系統與交通路網整合方案研究，民國 105 年。
- 33.交通部高速公路局，國道因應強降雨之排水滯洪作為，民國 109 年。
- 34.交通部公路總局，省道改善計畫（108-113 年），民國 107 年。
- 35.Intergovernmental Panel on Climate Change, Managing The Risk of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation -Summary for Policymakers, 2012
- 36.Centre d'Études et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement, National Climate Change Adaptation Plan: Transportation Infrastructures and systems, Action 1, 2015.
- 37.Heathrow Airport, Climate Change Adaptation and Resilience Progress Report, 2016.
- 38.Spizzichino, D., Capriolo, A., Climate Change, Landslide Risk Assessment and Adaptation Policies: The Urban Area of Ancona Municipality, 2015.
- 39.行政院，國家氣候變遷調適行動方案（107-111 年）執行成果-維生基礎設施領域成果報告（109 年），民國 109 年。
- 40.臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台，TCCIP 2020 調適構面，<https://tccip.ncdr.nat.gov.tw>.
- 41.交通部，交通統計要覽：附錄-12 交通天然災害概況，民國 108 年。
- 42.國家災害防救科技中心，臺灣氣候的過去與未來:臺灣氣候變遷科學研究報告 2017 - 物理現象與機制重點摘要，民國 107 年。



# 附錄 1

## 計畫摘要



# 附錄 1 計畫摘要

## 一、計畫緣起

為健全臺灣面對氣候變遷的調適能力，我國於 104 年 7 月公布施行《溫室氣體減量及管理法》（以下簡稱《溫管法》）。《溫管法》第 13 條明定中央目的事業主管機關應進行調適策略之研議，並配合每年提送氣候變遷調適成果。前揭事項在運輸系統上涉及不同運輸設施權責機關（構），係屬交通部層級之施政策略方向，爰需對於整體運輸設施有上位政策之探討。

為提升國內運輸系統調適能力，交通部運輸研究所自 107 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應用趨勢等，滾動檢討運輸系統調適策略，以確保運輸系統之調適策略能與時俱進。

運輸子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。爰公路系統更需於規劃階段及早融入氣候變遷調適之理念，以有效提升面臨極端事件之因應能力。

爰本所延續前期研究成果，持續掌握國際最新調適趨勢，滾動檢討運輸系統調適策略內容；並為各運輸系統設施權責機關（構）研擬新一期《國家氣候變遷調適行動方案》提出強化方向建議。此外，提出公路系統規劃階段強化調適能力之機制與方法，俾提升公路系統因應氣候變遷之調適能力；同時，協助各部屬設施管理機關（構）人員推動調適相關業務，並持續辦理調適專業知識教育訓練工作，以強化調適能力建構。

## 二、重要工作成果

### 1. 滾動檢討運輸系統調適策略

本計畫以 109 年度「運輸系統因應氣候變遷調適之研究」所研提之調適策略為基礎，綜合考量國際調適趨勢、運輸系統設施權責機關（構）當前之調適作為、策略推動課題及建議，滾動檢討並調整運輸系統調適策略。

依循《氣候變遷行動綱領》之指導，並參考《調適行動計畫(107-111 年)》，本計畫調適目標沿用 109 年計畫所設定之「建構具氣候變遷韌性的運輸系統」，並透過訪談、問卷及座談會等方式持續滾動式檢討。本年度調適策略涵蓋「提升衝擊耐受度、強化預警應變力、提高系統回復力、增進決策支援力」等四大策略，針對各項調適策略計提出 15 項調適措施，如附圖 1-1。



附圖 1-1 運輸系統氣候變遷調適四大策略及 15 項措施架構圖

### 2. 提出運輸系統調適計畫強化方向建議

藉彙整及檢討我國現有運輸系統調適行動計畫，並依據國內外調適計畫研擬之相關指導原則，提出各運輸系統設施權責機關（構）研提新一期調適行動方案（112—116 年）時可強化之方向建議。

### (1) 強化計畫內容之完整性

調適計畫應包含：①組織透過調適計畫將達成的目標、②調適行動的理由、③調適行動的基本原理、④使用的假設、⑤不確定性的來源、⑥決策的方法、⑦決策所依據的資料與數據、⑧與既有政策與策略的關係、⑨優先採取的行動與其效果、⑩如何解決最急迫的氣候衝擊與相關的計畫、⑪調適計畫的時限，以上 11 點方構成完整的調適計畫。

### (2) 強化計畫之範疇界定

需界定調適計畫的範疇並強化組織本身與其營運系統的韌性，現行調適行動計畫部分為運輸系統防救災相關行動計畫，內容與調適行動方案之相關性較低。

### (3) 加強說明零方案之調適能力

需說明未執行調適措施前的設施調適能力基準，俾利檢視及比較調適措施執行後之設施調適能力改善幅度。

### (4) 加強說明氣候變遷資訊及情境

需說明氣候變遷資訊，包含歷史、現況與未來的溫室氣體排放之情境與其他應用的情境。

### (5) 加強說明氣候變遷衝擊

需說明氣候變遷對歷史、現況與未來之衝擊，包含負面與正面，直接、間接與系統性的衝擊（活動、產品與服務）。

### (6) 加強組織調適能力探討

說明組織現況調適能力、執行調適計畫所需之能力差距以及如何將調適納入組織政策、策略與計畫。

### (7) 加強調適計畫監控、評估與溝通概念

如執行上需要將調適計畫轉化為實際調適行動，需確切執行調適活動的監控，並評估投入、產出與資源分配等，以確保執行的調適行動計畫可達到預期的效果，或是效果不彰的時候調整做法，以達計畫所設定目標。

### (8) 加強利害關係人參與

需與利害關係人溝通與分享調適計畫執行與成果，以獲得利害關係人的支持與合作。

### (9) 加強氣候變遷風險評估

參考 ISO 14091 進行氣候變遷風險評估，其前置作業流程依序為：界定脈絡、辨識目標與期望的成果，後訂定範疇與方法；風險評估流程如下：

①篩選衝擊與研擬衝擊鏈、②辨識指標、③取得與管理數據、④聚合指標與風險組、⑤評估調適能力、⑥解析與評估發現、⑦分析跨部門依賴性、⑧報告與溝通氣候變遷風險評估結果。

### (10) 加強跨部會合作

需強化跨部會不同領域與系統間之協調合作，如交通部、科技部、水利署、各交通設施機關等在研擬交通部調適行動方案相關策略與措施時，能建立順暢之溝通平台，強化跨領域與跨系統間之調適行動方案。

### (11) 辦理示範計畫

透過辦理示範計畫，建立具確實調適概念的成功參考案例，再逐步擴大辦理。

### (12) 配合環保署通案性要求

應配合環保署之通案性要求，研提新一期國家氣候變遷調適行動方案。

## 3. 研擬公路系統規劃階段強化調適能力機制與方法

欲提升公路設施於氣候變遷環境下的調適能力，於規劃階段（含新建與改建）即需對設施在氣候變遷環境以全生命週期探討在工程規劃與後續的養護管理，避免高風險潛勢區域、提高設施衝擊耐受力；既有公路系統規劃階段流程雖尚稱完善，惟未能系統化考量氣候變遷對設施與周邊區域的影響。本計畫參考國外公路系統氣候變遷調適手冊與指引，初步研提將氣候變遷的因素納入既有規劃流程的構想於附圖 1-2，並分階段說明如下：

### (1) 第一階段：資料蒐集

建議於此階段納入未來氣候變遷情境與氣候資料蒐集與分析之工作，規劃團隊可就建設計畫所在區域未來可能遭遇之氣候變遷影響進行資料蒐集。依據各專案不同的環境區位特徵指認應納入考量的氣候參數，如降雨（強度與頻率）、溫度（最高溫、最低溫、均溫及天數）、風（平均風速、最大陣風、風向）、海平面（平均水平、漲潮、風暴潮）、流量（平均、最大和最小溪水位）等。

## (2) 第二階段：方案研擬與評估

氣候變遷導致眾多氣候參數呈現年均值減少、增加或極端值推升的趨勢，故篩選影響公路服務年限的預估氣候數據為關鍵。此階段旨在辨識影響公路系統調適能力的氣候風險因素，俾利指認氣候變遷對本系統之關鍵影響與評估路線方案。

## (3) 第三階段：工程研究與評估

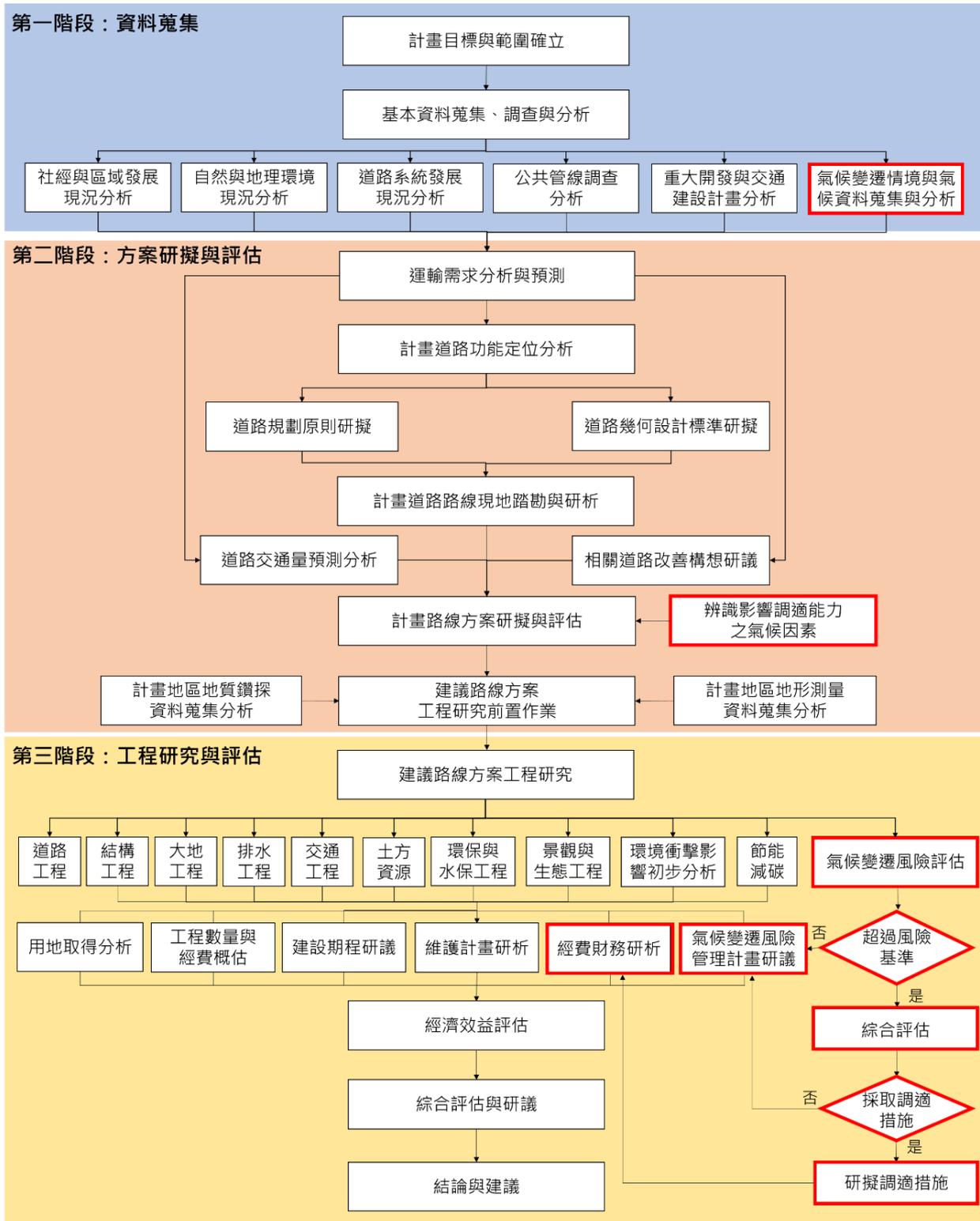
於此階段納入氣候變遷風險評估作業，先就建設計畫設施之壽年與可取得之氣候數據資料設定評估期程（依據 ISO 14091 之建議，至少採取 30 年，如係壽年較長的設施，如橋梁，或評估變化較長期的氣候變遷因素，如海平面上升，則建議採取 100 年）。

風險評估作業由各工程面向考量與評估，並就辨識的各項風險建立風險基準。無超過風險基準需進入氣候變遷風險管理計畫之研議，以妥善因應風險；如有超過風險基準的風險項目，再就機關資源與預算決定維持原方案或研擬調適措施，如維持原方案，則進入氣候變遷風險管理計畫之研議，如研擬調適措施，則進行措施之研析及評估。

調適措施之類型包含：

- ① 彈性設計：包含備援系統或預留可因應未來氣候變遷調整的空間，例如預留車道空間，做為未來排水之用。
- ② 穩健調適：可因應未來氣候變遷的強健設施方案。
- ③ 觀察法：持續觀察環境變化與設施狀況，依序導入調適作為。
- ④ 低或無悔調適：因應現況環境且可為未來氣候變遷建立基礎。

調適措施之研析，將由效益、財務及技術可行性等面向綜合評估，分析措施實行的優先次序。



資料來源：本計畫繪製。

附圖 1-2 公路系統規劃階段強化調適能力機制示意圖

#### 4. 探討強降雨加劇對公路系統交界處衝擊與溝通協調機制

面臨極端事件時，運輸系統間可能相互影響，導致系統無法正常營運。為解決跨公路運輸系統介面之調適課題，本計畫首先盤點公路系統交界處之高淹水風險路段、分析淹水類型與成因，進而研提因應強降雨衝擊之溝通與協調機制。

##### (1) 公路系統交界處高淹水風險點位分析

透過本所建置之重大鐵公路風險地圖，盤點國道及快速公路交流道與公路系統交界處之高淹水風險衝擊路段，做為公路系統強化調適能力方向的基礎參考資料。

篩選標準以國道及快速公路交流道 500 公尺服務半徑為環域範圍，指認與公路系統交界處存在中高淹水風險衝擊之路段。分析結果指出，就國道與公路系統交界處而言，此類型路段多分布於國道 1 號及國道 3 號之交流道與省道台 1 線交界處；就快速公路與公路系統交界處而論，此類型路段多位於台 15 線、台 17 線與台 61 線，分布縣市以新北市、苗栗縣及彰化縣為主。

##### (2) 公路系統交界處淹水類型與成因

因強降雨造成的淹水可分為兩種類型：

###### ① 內水淹水

強降雨發生時，因地勢平坦、排水系統不良，或降雨量超出排水系統設計標準，造成局部之積淹水，待降雨結束後淹水便逐漸消退，其淹水區域與降雨區域之重合度較高。

權責機關包含：高公局、公路總局、營建署、地方政府。

###### ② 外水淹水

河川上游集水區發生豪雨/暴雨時，當洪峰流量超出堤防設計標準，河川水位暴漲而溢堤或潰堤，以致洪水進入堤防保護區內。此類淹水經常發生於河川下游地勢較平坦之地區。此類型之淹水區域與最大降雨區域未必相同。

權責機關包含：高公局、公路總局、水利署、地方政府。

### (3) 公路系統交界處強降雨衝擊之溝通及協調機制

由於公路系統間交界處多涉及跨部會協調溝通，水利署為因應氣候變遷造成的極端降雨事件，民國 107 年 6 月 20 日於《水利法》增訂逕流分擔與出流管制專章，目的是規劃土地共同分擔降雨逕流，未來可有效提升土地耐淹能力。附表 1-1 說明不同淹水類型可於規劃階段應用之溝通及協調機制。

附表 1-1 公路系統間交界處強降雨衝擊之溝通及協調機制

交界處淹水類型	公路系統規劃階段之溝通及協調機制	權責機關
內水淹水	■ 出流管制計畫 (開發規模超過 2 公頃，共 21 種土地開發樣態，其中包含公路、鐵路及大眾捷運運輸系統之開發)	■ 公路總局 ■ 高公局 ■ 水利署
外水淹水	■ 逕流分擔計畫 (目前尚未公告河川特定流域排水集水區域為逕流分擔實施範圍)	■ 水利署 ■ 地方政府

資料來源：本計畫彙整。

#### ① 出流管制計畫

土地開發義務人需承擔因開發所增加之逕流量，避免因開發增加附近淹水風險。於規劃階段由公路主管機關間協調溝通，並提送「出流管制規劃書」；工程設計階段再提送「出流管制計畫書」至水利署審核。相關法規與審核流程，詳如《水利法》§83-7 至§83-13 及《出流管制計畫書與規劃書審核監督及免辦認定辦法》所述。

綜整公路機關訪談與專家學者座談會討論意見，目前在實務操作上執行出流管制所面臨問題與建議改善方向有以下兩點：

- a. 整體規劃需一致：道路淹水通常是強降雨造成排水不及，對此問題區域排水是核心關鍵，建議透過整體規劃來改善。
- b. 經費支出增加：出流管制措施實務操作上有一定難度，因公路規劃與建設需涉及土地徵收及工程設計等問題，導入出流管制措施增加財務支出或預算編列提高，導致計畫執行困難。

## ② 逕流分擔計畫

為因應氣候變遷及確保既有防洪設施功效，《水利法》明定中央主管機關得視淹水潛勢、都市發展程度及重大建設，公告特定河川流域或區域排水集水區域為逕流分擔實施範圍，主管機關應於一定期限內擬訂逕流分擔計畫，報中央主管機關核定公告後實施。相關法規與執行流程，詳如《水利法》§83-2 至§83-6 及《逕流分擔實施範圍與計畫之審定公告及執行辦法》所述。

目前在實務操作上執行逕流分擔所面臨問題與建議改善方向有以下兩點：

- a. 因逕流分擔實施範圍尚未公告，實務操作面之問題尚待後續蒐整俾提出實質改善建議。
- b. 由於逕流分擔審定公告及執行流程頗長且工作內容繁複，為縮短分析評估與溝通時程，建議可建立較為妥適之氣候變遷風險評估方法與強化利益相關人溝通機制，以做為決策之參考依據。

## 三、建議

本節綜理本計畫執行過程中之觀察及發現，參考《國家因應氣候變遷行動綱領》之原則：「強化科學基礎...提升因應氣候變遷之調適作為及建構韌性發展。」與《溫室氣體減量及管理法修正草案總說明》之擬新增法條，提出後續調適工作推動建議與調適研究議題建議，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) 調適預算與資金需於國內部會中長期預算籌編，爭取足夠的資金推動政府調適計畫優先事項並滿足調適工作的需求。
- (2) 調適思維的推動與主流化，加強中央地方各設施管理機關（構）及全民對於調適的認同性，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。

- (3) 運輸系統調適四大策略推動引導，建議蒐整國內外案例或提出國內調適先導型計畫，藉由實務操作經驗分享，可進一步引導海空運與鐵公路個別運輸系統如何推動與加強推動調適各措施。
- (4) 建立調適計畫之監控、評估與學習機制，於計畫後評估計畫前與計畫後的差異，以利分析計畫之成效，並從中分析值得學習之計畫管理、調適計畫研擬過程、調適方案選擇等，以利後續調適計畫之精進。
- (5) 加強推動跨部門整合與資訊共享，建議加強跨部會相關資料之蒐集與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，有助於決策支援。

## 2. 後續調適研究議題建議

為持續深化調適之科學研究並做為調適工作推動之基礎與參考，就本計畫之研究主題：「強化公路系統規劃階段調適能力之機制與方法」成果與觀察，建議後續公路系統管理機關(構)、目的事業主管機關與相關機關(構)研究與探討的調適議題：

- (1) 後續可針對國內公路系統目前急迫性高且關注度高之氣候變遷議題深入探討(如因氣候變遷加劇強降雨對山區公路系統衝擊)，建議聚焦以強降雨為重點並考量其可能造成複合性災害的議題，進一步研究影響其韌性因素與提出對應之調適方法。
- (2) 建議可運用實務案例加強說明如何操作及應用衝擊鏈分析方法，解析影響公路系統韌性強度之因素，以利公路系統設施權責機關理解其關聯性，並於規劃階段著手思考對應的調適方法加以緩解或排除。
- (3) 延續本期研究主題「強化公路系統規劃階段調適能力之機制與方法」，下一期研提強化公路系統規劃階段調適能力上位指引，俾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。
- (4) 調適研究資料共享與互惠，建議未來調適之研究可積極與不同部會互動(如科技部、經濟部水利署等)，互相交流合作與共享資訊，並參考其研究成果以強化研究能量。

## 附錄 2

### 計畫英文摘要



## 附錄 2 計畫英文摘要

### 1. Background

To strengthen Taiwan's adaptive capacity to climate change, article 13 of "Greenhouse Gas Reduction and Management Act" ratified in July 2015 requires central authorities in charge of relevant industries to develop climate change adaptation strategies and regularly submit adaptation outcomes to the central competent authority. In terms of management of the national transportation system, the requirement concerns various administrations and thus should be planned and coordinated at the level of the Ministry of Transportation and Communications (MOTC).

To enhance the adaptive capacity of a domestic transportation system, the Institute of Transportation (IOT) has begun research on adaptation strategies for transportation sector since 2017 and has maintained regular reviews on the strategies to ensure their connection with international trends, relevant authorities' progress on implementing adaptation action plans, and the application of new technology.

Among the entire transportation system, road systems are the most closely related one towards people's daily lives. Any impairment or disruption to road systems will cause significant impacts on the economic and social aspects of the society. However, existing planning mechanisms and associated specifications of road infrastructure have not adequately taken climate change adaptation into consideration. 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, this project aims to revise the existing mechanism of road infrastructure planning to reinforce adaptive capacity, which provides a reference to the authorities in charge of road systems facilities. This project will:

- (1) Review and revise adaptation strategies for transportation sectors based on current international trends on climate change adaptation;

- (2) Advise the authorities of each transportation system on optimizing the formulation of “National Climate Change Adaptation Action Plan (2023-2027);”
- (3) Revise the existing mechanism of road infrastructure planning to reinforce the adaptive capacity of road systems; and
- (4) Organize training courses which deepen the understanding of adaptation and assist in the implementation of related work among personnel of authorities in charge of transportation facilities.

## **2. Major results of the project**

- (1) Reviewing and revising transportation sector’s adaptation strategies

Based on the objective and strategies set by the previous project “Research on Adaptation Strategies of Transportation Systems” in 2020, this project further reviews and revises the strategies to ensure their connection with international trends, relevant authorities challenges and progress on implementing adaptation action plans.

The revised strategies focus on four aspects of adaptation and propose fifteen measures to respond to climate change. Four strategies and associated measures are elaborated as follows:

- ① Strategy I: Enhancing transportation system’s resistance to climate impact
  - a. Measure 1-1: Establish methods and benchmarks for assessing safety and risk of transportation facilities, and conduct the assessment regularly;
  - b. Measure 1-2: Incorporate the concept of climate adaptation into associated specifications and procedures among planning, design, construction, and maintenance phases of transportation facilities;
  - c. Measure 1-3: Avoid areas with high damage potential and return sections which have been continually disrupted by the extreme weather events;

- d. Measure 1-4: Utilize or develop new technology, materials, engineering methods or equipment that help enhance resistance of transportation facilities; and
  - e. Measure 1-5: Reinforce connectivity across different transportation systems.
- ② Strategy II: Strengthening functions of early-warning and response systems
- a. Measure 2-1: Establish early-warning and response network across different transportation systems; and
  - b. Measure 2-2: Review and adjust risk monitoring mechanism under the circumstance of climate change.
- ③ Strategy III: Improving the rehabilitation of transportation system
- a. Measure 3-1: Establish the principles of phased rehabilitation; and
  - b. Measure 3-2: Establish internal and external backup plans for transportation system facilities.
- ④ Strategy IV: Providing essential support for decision-making
- a. Measure 4-1: Establish assessment methods of investment decision-making for adaptation action plans;
  - b. Measure 4-2: Establish monitoring, evaluation, and learning mechanisms for adaptation action plans;
  - c. Measure 4-3: Establish the database and toolkit needed for climate risk management and adaptation action plans;
  - d. Measure 4-4: Promote the platform for interdisciplinary climate adaptation collaborations, ensuing open data sharing;
  - e. Measure 4-5: Cultivate relevant authorities personnel's expertise in climate change risk management and adaptation; and
  - f. Measure 4-6: Identify stakeholders so as to communicate or cooperate with them in implementing adaptation action plans.

(2) Making recommendations for future adaptation action plans of transportation system

This project makes recommendations for transportation authorities to strengthen their proposals for “National Climate Change Adaptation Action Plan (2023-2027)” through reviewing shortcomings of existing adaptation action plans and referring to ISO 14090<sup>1</sup>, ISO 14091<sup>2</sup>, and TCCIP<sup>3</sup>. Each recommendation is elaborated as follows:

① Reinforce the integrity of adaptation action plans

A satisfactory adaptation action plan should consist of following elements:

- a. The objectives that the authority seeks to achieve;
- b. The motivation for adaptation actions;
- c. Fundamental principles of adaptation actions;
- d. Assumptions adopted in the plan;
- e. Sources of uncertainty;
- f. Mechanism for decision-making;
- g. Empirical evidence that supports decision-making;
- h. Connection between adaptation actions and existing policies;
- i. Ways that each action is prioritized;
- j. Approaches to solve most urgent climate impact; and
- k. Time frame of the plan.

---

<sup>1</sup> ISO 14090 was published in 2019 and referred to the principles, requirements and guidelines of adaptation to climate change.

<sup>2</sup> ISO 14091 was published in 2021 and referred to the guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment of adaptation to climate change.

<sup>3</sup> The project TCCIP (Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform) which is launched by Ministry of Science and Technology (MOST) and coordinated by National Science and Technology Center for Disaster Reduction (NCDR), builds up the climate change dataset, supplies projected climate change downscaling data, as well as provides the climate change scientific data service.

② Strengthen definition of the scope of adaptation action plan

It is crucial to define the scope of adaptation action plans. Part of the existing plans refers mainly to disaster prevention and reduction, which are of limited relevance to the matter of adaptation.

③ Explain adaptive capacity of the scenario that no adaptation measure is taken

To compare the improvement brought by implementation of adaptation measures, it is necessary to evaluate facilities' adaptive capacity when no adaptation measure is implemented.

④ Explain information and scenarios regarding climate change

Explanation of historical, current and future scenarios of greenhouse gas emission is also needed in adaptation action plans.

⑤ Explain the impact of climate change in detail

It is necessary to indicate the detailed impact of climate change in adaptation action plans, including the impact in negative, positive, direct, indirect and systemic terms.

⑥ Research existing level of adaptive capacity of the authority

It is critical to research the gap between the authority's existing level of adaptive capacity and the capacity needed to implement adaptation measures adequately. The understanding of the gap would help incorporate the concept of adaptation into authorities' policies, strategies and plans more smoothly.

⑦ Emphasize the process of monitoring and evaluation of adaptation action plans

It is essential to monitor the progress of adaptation actions to evaluate the input, output and resource allocation, etc., ensuring expected results of the plan could be achieved.

⑧ Engage the stakeholders more actively

It is encouraged to actively communicate and share the progress and results of adaptation action plans with the stakeholders since their support and cooperation are fundamental for the implementation of the plans.

⑨ Reinforce the implementation of climate change risk assessment

It is critical to refer to ISO 14091 for implementing climate change risk assessment, and the process is elaborated as follows:

- a. Screening impacts and developing impact chains;
- b. Identifying indicators;
- c. Acquiring and managing data;
- d. Aggregating indicators and risk components;
- e. Assessing adaptive capacity;
- f. Interpreting and evaluating the findings;
- g. Analysing cross-sectoral interdependencies; and
- h. Independent review.

(3) Revising the existing mechanism of road infrastructure planning to reinforce adaptive capacity

It is critical to examine different scenarios of climate change during the planning stage of road facilities' construction projects, taking the entire project life cycle into consideration to avoid areas with high damage potential as well as to considerably enhance adaptive capacities. This project refers to multiple manuals and guidelines for climate change adaptation published by foreign authorities in charge of road infrastructure, offering some insights into the inclusion of climate change factors in the existing mechanism of road infrastructure planning. Proposed revisions to the existing mechanism are illustrated in Figure 1-1 and elaborated in stages as follows:

① Stage I: Data collection

It is recommended that collection and analysis of future climate change scenarios and relevant data should be included at this stage. The

planning team can collect data on possible impacts brought by climate change in areas where construction projects are located, and identify climate parameters that should be considered based on different environmental characteristics of each project. The parameters include:

- a. Rainfall (intensity and frequency)
- b. Temperature (the highest, lowest, average level, and number of days)
- c. Wind (average wind speed, gust peak speed, and the direction)
- d. Sea level (the average, flood tide, and storm surge level); and
- e. Streamflow (the average, maximum, and minimum stream level), etc.

② Stage II: Route plan development and evaluation

Climate change has caused that multiple climate parameters indicate the trends of decreasing or increasing values in both average and extreme terms. Therefore, it is fundamental to screen climate data that influences the design life of road infrastructure. Adequate identification of climate risk factors that influence the adaptive capacities of road systems should be incorporated in this stage to develop and evaluate feasible route plans.

③ Stage III: Engineering feasibility study

Climate change risk assessment should be included in this stage. The period of assessment depends on the design life of each road infrastructure project and available climate data. According to instructions given in ISO 14091, the time horizon for assessing climate hazards should be at least 30 years, and time periods longer than 100 years can be considered for long-lasting assets such as bridges.

The risk assessment should be considered and evaluated from various aspects of engineering projects, and establish benchmarks for each identified climate risk. If the risk does not exceed the benchmark, a risk management plan must be proposed to properly address the risk. Once the risk benchmark is reached, the authority must decide whether to maintain the original plan or to develop adaptation measures based on available resources and budget. If the original plan is maintained, a risk management

plan must be proposed. If adaptation measures are required, financial analysis of selected measures needs to be conducted. Types of adaptation measures include:

- a. Flexible design: developing backup plans and reserving certain driveway space as part of drainage systems;
- b. Robust adaptation: formulating a robust facility plan that copes with future climate change;
- c. Observation: constantly monitoring environmental changes and road infrastructure conditions to introduce phased adaptation actions;  
and
- d. Low/no-regret adaptation: adapting to existing environmental conditions and laying the foundations for addressing future climate change.

Financial analysis of adaptation measures needs to be conducted from three aspects of feasibility, i.e. benefit, finance, and technology to prioritize the implementation of each measure.

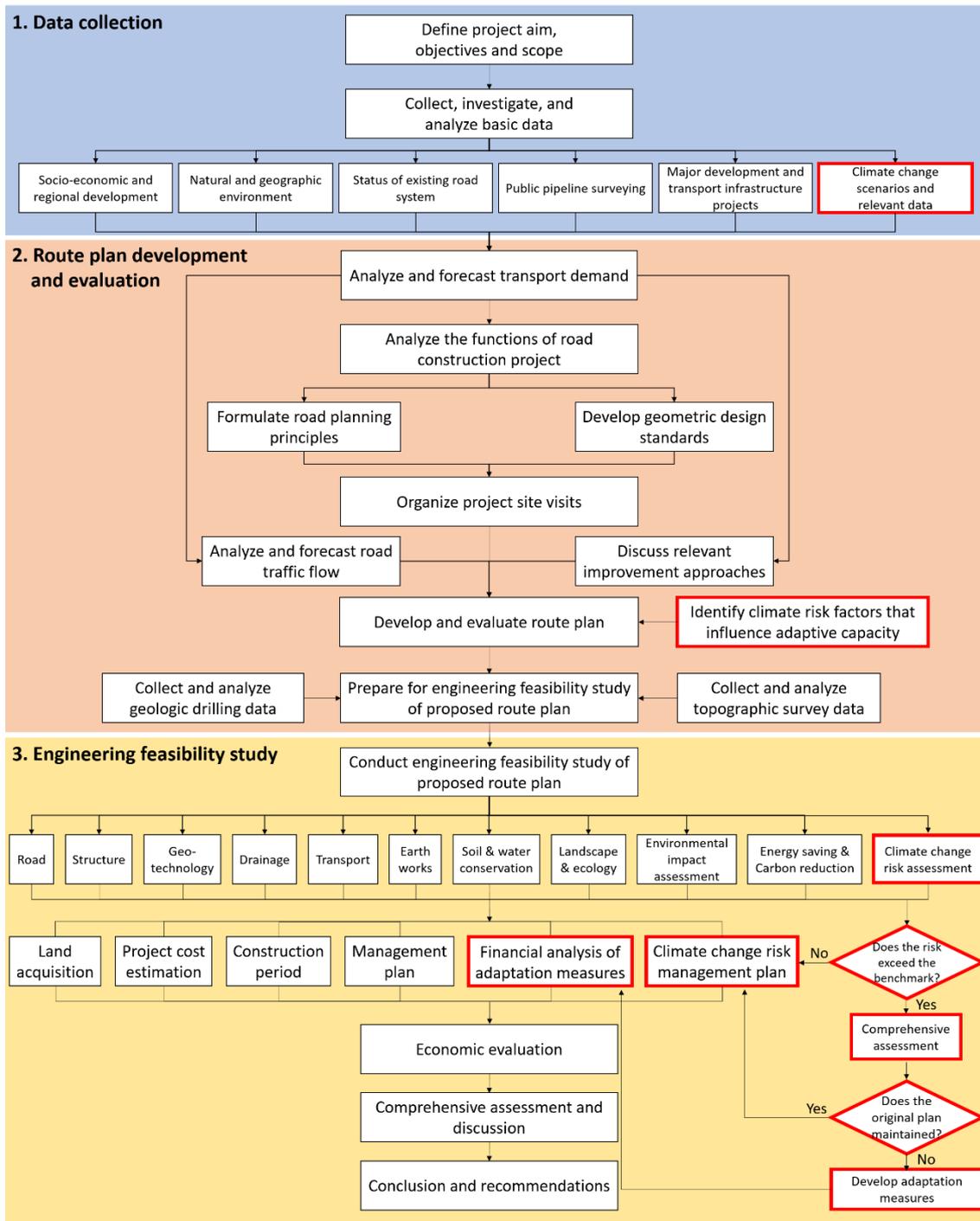


Figure 1-1. Schematic diagram of the revised road infrastructure planning mechanism for reinforcing adaptive capacity

(4) Developing a coordination mechanism in heavy precipitation events for the freeway-highway and expressway-highway interfaces

When faced with extreme events, various forms of road systems, i.e. freeway, expressway, and provincial highway may affect each other, disrupting to freeway-highway and expressway-highway interface sites. To address adaptation issues of such sites that accommodate different forms of car traffic, this project identifies the interface sites with high flood risk, and analyze the types and cause of flooding to develop a coordination mechanism in response to the impact of heavy precipitation.

① Identifying the freeway-highway and expressway-highway interfaces with high flood risk

This project identifies road sections with high flood risk at the interface between freeway and expressway interchanges and provincial highway systems by referring to the major highway-railway construction risk map established by IOT.

The results indicate for a interface between the freeway and provincial highway systems, road sections with high flood risk are mostly located at interchanges that connect Freeway No. 1, Freeway No. 3, and Provincial Highway No. 1. Regarding interface between the expressway and provincial highway systems, road sections with high flood risk are primarily situated at Provincial Highway No. 15, No. 17, and No. 61, being distributed mainly in New Taipei City, Miaoli County, and Changhua County.

② Analyzing the types and causes of flooding

Flooding caused by heavy precipitation events in such sites can be divided into the following two types:

a. Inland flooding

Inland flooding can result after rainfalls for many days in a row, following brief periods of intense precipitation, or whenever the volume of water on land overcomes the capacity of natural and built

drainage systems to carry it away. The rainfall areas usually overlap with the flooded areas.

The authorities concerned include Freeway Bureau, Directorate General of Highways, Construction and Planning Agency, and local governments.

b. External water flooding

When heavy precipitation events occur in the catchment area of rivers, peak discharge exceeds the design standard of a levee. Flooded rivers overflow or burst their banks, causing floodwater to enter levee-protected areas. Such flooding often occurs in relatively flat areas in the lower reaches of rivers, and thus the flooded areas may not be the same as the area with the maximum volume of rainfall.

The authorities concerned consist of Freeway Bureau, Directorate General of Highways, Water Resources Agency, and local governments.

③ Developing a coordination mechanism in heavy precipitation events for the freeway-highway and expressway-highway interfaces

In response to extreme precipitation events caused by climate change, the Water Resources Agency amended the "Water Act" in 2018 to incorporate a special chapter on runoff allocation and outflow control which aims to effectively enhance land's resistance to flood.

With reference to the newly-added chapter mentioned above, the coordination mechanisms that can be applied to tackle different flooding types in road infrastructure planning stage are summarized in Table 1-1.

Table 1-1. The coordination mechanism in heavy precipitation events for the freeway-highway and expressway-highway interfaces

Types of flooding in road junctions	Coordination mechanism for road infrastructure planning stage	The authorities concerned
Inland flooding	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Outflow control plan (for projects that are more than two hectares and includes developments of road, railway, and mass rapid transit systems)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Freeway Bureau</li> <li>▪ Directorate General of Highways</li> <li>▪ Water Resources Agency</li> </ul>
External water flooding	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Runoff allocation plan (The central competent authority has not yet announced the implementation scope of the specific river basins or catchment areas of regional drainage for runoff allocation.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Water Resources Agency</li> <li>▪ Local government</li> </ul>

① Outflow control plan

Land developers are obliged to address a increase in runoff volume resulting from the developments to avoid the increased flooding risk in surrounding areas. In the road infrastructure planning stage, the competent authorities of a highway system should coordinate with each other and submit the outflow control proposal to Water Resources Agency for review. In the engineering design stage, the outflow control plan should be further reported to the Agency for approval.

More relevant regulations and procedures are detailed from article 83-7 to article 83-13 of “Water Act” as well as “Regulations on Review, Supervision and Exemption of Outflow Control Proposal and Plan.”

Based on interviews with the competent authorities and discussions with experts and scholars, the existing problem of implementing outflow control in practice and the suggested improvement are elaborated as follows:

- a. The overall planning of drainage system needs to be consistent. Road flooding is usually caused by heavy precipitation events-induced inadequate drainage. Thus, the capacity of regional drainage system

is focal, and it is recommended to improve the capacity through overall planning.

- b. Since road infrastructure planning and construction involve land acquisition and engineering design issues, the introduction of outflow control measures will increase budgeting and financial expenditures, which will result in difficulties in the implementation of construction plans.

② Runoff allocation plan

In order to respond to climate change and ensure the effectiveness of existing flood control facilities, the “Water Act” clearly stipulates that the central competent authority may make a public announcement of the implementation scope of the specific river basins or catchment areas of regional drainage for runoff allocation depending on the flooding potential, the degree of urban development and major constructions. The authority-in-charge shall draw up a runoff allocation plan within the given deadline and report to the central competent authority for approval and the public announcement before implementation.

More relevant regulations and procedures are detailed from article 83-2 to article 83-6 of “Water Act” as well as “Regulations on Review, Announcement and Execution of Runoff Allocation Implementation Scope and Plan.”

The existing problem of implementing runoff allocation in practice and the suggested improvement are elaborated as follows:

- a. Since the implementation scope of runoff allocation has not been announced, practical issues are yet to be collected and analyzed to make recommendations for improvement.
- b. The review, announcement and execution procedures of the runoff allocation plan are relatively lengthy and complicated. It is recommended to establish an adequate climate change risk

assessment method and reinforce stakeholder communication mechanism so as to support the decision-making process.

### **3. Recommendations for future adaptation actions and research**

This section summarizes the findings of the project and refers to the proposed amendment of “Greenhouse Gas Reduction and Management Act” to make several recommendations for future implementation of adaptation actions and research, seeking to provide reference to the authorities in charge of transportation facilities.

#### **(1) Recommendations for future adaptation actions**

- ① Relevant funds for adaptation actions need to be budgeted from mid- and/or long-term budgets of the authorities concerned in order to ensure sufficient funds for implementing prioritized adaptation action plans.
- ② Central and local competent authorities and citizens’ understanding of adaptation need to be further strengthened by means of workshops and training courses to mainstream the importance of adaptation actions in policy discourse.
- ③ Transportation sector’s adaptation strategies revised in this project can be utilized to guide the proposal of pilot projects as well as the search for domestic and foreign cases. The sharing of practical experiences can effectively assist the promotion of adaptation measures for different transportation systems.
- ④ Inter-departmental integration on data sharing, collection and analysis needs to be further reinforced to shed light on the overall status of transportation system, guiding competent authorities through a smooth decision-making process.
- ⑤ It is fundamental to establish monitoring, evaluation, and learning mechanisms to analyse the effectiveness of adaptation action plans as well as to provide a reference for future plans in terms of project development and management.

## (2) Recommendations for future adaptation research

- ① Built on the results of this project, the next phase of the project could focus on issuing guidelines on reinforcing adaptive capacity during the road infrastructure planning stage and establishing procedures for periodic reviews to ensure feasibility of proposed adaptation measures in practice.
- ② In view of climate change-induced heavy precipitation events has caused severe impact on road systems in mountain areas, it is recommended to direct future research towards examining the possible compound disaster issues caused by heavy precipitation events, analyzing the factors that affect the resilience of the road systems so as to develop corresponding adaptation measures.
- ③ It is significant to facilitate data sharing and collaboration on adaptation research between authorities concerned, for instance, Ministry of Science and Technology, Water Resources Agency, etc. to elevate academic research capability in the field of climate change adaptation.



## 附錄 3

### 審查意見辦理情形



# 附錄 3 審查意見辦理情形

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

■期中 □期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：IOT-110-TCF004

計畫名稱：公路系統規劃階段強化調適能力之探討(1/2)

執行單位：鼎漢國際工程顧問股份有限公司

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
<b>陳委員永明</b>		
<p>1. 國外文獻回顧完整，建議可進一步強化勾稽文獻資料與運輸系統調適策略及行動計畫研擬之參考依據。例如愛爾蘭的調適計畫分為三大類（軟性、綠色與灰色），可以依照運輸系統之特殊性，進行系統與架構性整理，以銜接報告所提之調適策略整體規劃或分類。</p>	<p>(1) 感謝委員建議。已調整文獻回顧的資料僅保留與本文相關性強之文獻(其他則移至附冊二供參)，並於第 2.6 節小結以重點加強說明文獻與本文之勾稽，詳見 P.2-44。</p> <p>(2) 此外，針對國外文獻回顧之各國調適規劃手冊上發現主要的相似重點作架構性整理，並補充國外公路系統規劃階段調適機制之重點綜理表，詳見表 2.4-6。</p>	<p>同意。</p>
<p>2. 研究報告有兩部分，分別為運輸系統的調適策略與行動計畫，以及公路系統的調適能力強化，建議報告撰寫可以適度區分兩者的敘述方式與章節安排，以利掌握其前後是否有從屬關係或關聯性。</p>	<p>感謝委員建議。已於第 1.5 節報告章節架構加強說明兩大研究主題的區別，並於各章前言加強說明以利掌握其關聯性，詳見 P.1-10。</p>	<p>同意。</p>
<p>3. 運輸系統在風險評估或調適應用上，如何考量其量化方式，建議在文獻回顧部分可以加以強化，了解國外之操作經驗，以做為後續國內推動參考。</p>	<p>(1) 由於本計畫研究定位為運輸系統上位策略之推動指導與公路系統的調適能力強化之機制與方法，為加強說明文獻回顧與本文之勾稽，僅保留相關性高之文獻摘要。</p> <p>(2) 附冊二文獻回顧參照已補充國外文獻提及風險評估方法與量化方式，建議國內未來可參考國外量化方式，盤點國內可取得之數據資料，逐步推動調適計畫所需之決策工具之建立。</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
<b>劉委員霽</b>		
1. 整體而言，研究團隊在期中報告前所進行之文獻彙整及機關訪談等工作已大致完成，並有相當完整的文字說明與討論，敬表肯定之意。	感謝委員肯定。	同意。
2. 報告書 2-11 頁，ISO 文獻中提及調適能力包括「組織能力、技術能力、金融能力、生態能力等」，而 2-17 頁愛爾蘭運輸部門文獻則提及「調適行動計畫可分軟性、綠色及灰色等」，日本文獻風險評估流程亦有類似內容，各文獻敘述方式不同但意旨應屬相互呼應，建議在文獻回顧 2.3 節之末進行綜整小結，敘明國際上對風險評估、調適措施、韌性等課題之意義及建議作法，供相關單位參考。ISO14090 的內容建議可再進一步瞭解，提供給國內設施管理機關可參考處，並將標準中的概念與國內比對，分析脈絡上是否相符或是有所偏離。	(1) 感謝委員建議，已針對國外文獻回顧綜整小結，以重點說明加強文獻與本文中不同主題之勾稽，詳見 P.2-36、P.2-44~46。 (2) 團隊於第 4.2.2 節提出運輸系統調適行動計畫檢核表，透過比對與 ISO14090 中提出的調適規劃流程與國內目前的調適規劃流程進行檢核，以分析國內調適工作推動的脈絡與國際標準是否相符。	同意。
3. 財務評估確實影響調適作為可行性的關鍵因子，建議將氣候變遷風險對單位轄管設施調適作為及國家經濟與財政影響之量化評估納入規劃階段調適作為之評估流程。圖 5.3.3「經濟效益評估」建議調整為「財務評估」，或在其上增列「財務評估」，以明確檢核所提調適措施是否可行。	感謝委員建議，參考目前的可行性研究與綜合規劃工作項目，已依據委員意見調整，並透過座談會、工作坊等綜合討論確認其合理性後，提出規劃階段調適作為-第三階段之評估流程，詳見 P.5-10。	同意。
4. 我國各單位近年確實針對氣候變遷提出許多因應作為，然第二章小結確實指出目前我們看到的問題，鼓勵研究單位針對這個部分努力，在本次計畫中提出適合我國之調適機制與方法。	感謝委員指教，團隊借鏡國內外文獻並邀請專家學者與公路主管機關共同討論後，於期末階段提出我國公路系統可應用之調適機制與方法之研擬，詳見第 5.2~5.3 節。	同意。
5. 嚴格說，表 4.1-1~4.1.4 所列各項計畫並非全為因應氣候變遷而研提之調適行動計畫，是否全部納	本計畫彙整各運輸系統設施權責機關(構)提出之行動計畫的目的即是為了分析當前計畫之問題，分析結果詳見第	同意。

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
入或可以調整說明之方式呈現？ 謹請考量。	4.1.5 節。透過本計畫之綜合檢討分析，發現部分非因應氣候變遷而研提之計畫，因而提出強化方向建議，詳見第 4.2 節。	
6.圖 5.3.3 超過風險基準後之相關流程似乎有一點矛盾，建議再檢視確認合理性，例如完成經濟效益評估後是否需要再回到氣候變遷風險評估的研議？	感謝委員建議，已依據委員意見調整，並透過座談會、工作坊等綜合討論確認其合理性後，提出規劃階段調適作為-第三階段之評估流程，詳見 P.5-10。	同意。
7.建議研究單位再就調適與防災的差異做文字上的說明，以利區隔兩者的差異。	已於第 3.2 節補充調適策略之內涵並說明兩者的差異，以利運輸系統設施權責機關（構）參考與應用，詳見 P3-5。	同意。
8.此計畫是談公路系統規劃階段，但公路路網已大致建置完成，如只專注在規劃階段，操作的實用性會較低，是否可就既有系統做調適工作的研擬與建議？	感謝委員提點，規劃階段即須以設施全生命週期的概念與考量進行規劃，因此，團隊以全生命週期的概念進行機關訪談並將所提到的維護管理相關考量，納入規劃階段的作業。	同意。
<b>方委員文志</b>		
1.公路系統規畫階段強化調適能力之探討(1/2)架構相當完整、內容詳實，謝謝。	感謝委員肯定。	同意。
2.過往 10 年針對橋梁的設計規範，如保護層的厚度與混凝土的強度都有調整，可因應氣候變遷。過往橋梁的壽年為 50 年，目前已調整為 100 年，淡江大橋甚至高達 120 年，具有耐候性。	敬悉。	同意。
3.報告書指出橋梁建議以 30-100 年做評估標準，但橋梁是以 200 年的重現期洪水量加上 1.6 米的出水高度，上述的設計標準建議應反應在評估標準上。	報告書建議以 30-100 年做為風險評估的時間範疇，即是鼓勵設施管理機關需評估與思考在未來的 30-100 年的氣候變遷情境下，200 年的重現期洪水量加上 1.6 米的出水高度會經歷超過上述設計標準的機率是否會提高，並視機率評估是否為可承受風險。	同意。
4.地震是否為氣候變遷的一部分？因臺灣是多雨、多震、多風的區域，橋梁的最大地震設計為 450 年，未來在規劃階段建議應考量橋梁的壽年，考量耐受力，例如，最近日本國土交通省也有提出鋼	感謝委員提出建議。因目前國際與國內上尚無明確研究數據證明氣候變遷會造成地震的強度或頻率增加，故無將地震納入本研究。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
構橋梁耐候性的研究成果，就不同年份與材料做研究，提供做為參考。		
5.橋梁檢測為重要一環，如何檢測是否要在規劃階段中定下來？部分橋梁有做維修檢查的通道，讓維修檢查的作業較便利，建議未來在跟各單位訪談的時候可再就檢測需求進行了解與著墨。	團隊已辦理機關訪談，並針對機關維護管理相關考量進行了解，訪談內容詳附冊一。	同意。
<b>蘇委員茂林</b>		
1.報告書 3-28 頁提到公路在面對高溫與強降雨影響，請補述增列：若採瀝青混凝土做鋪面材料，應考慮高溫冒油、軟化等相關氣候變遷衝擊，須調整道路鋪面設計之規範；另在公路工程植作時考量降雨影響，推廣應用多孔隙瀝青透水材料，以降低雨水的積水與揚水，若面對市區道路面工程，應考慮降低積水，則應另研擬其他工法或工程材料。	感謝委員建議。已將建議內容於報告書內補充說明，詳見第 3.4.1 節。	同意。
2.調適措施 4-4，氣候變遷調適工作經費涉及不同運輸系統設施之間，例如淹水或坡災成因往往不單純只肇因於設施本身，省道河川橋梁被沖毀問題則與路權外的河川整治有關；大型邊坡坍塌問題之主要成因則與上方山坡地治理有關，顯見運輸系統氣候變遷調適的推動與落實，需個權責單位分工與調整整合...請補述國內實際案例，例如 104 年蘇提勒颱風侵襲台 9 甲線烏來山區，做案例分析與災害處理模式。	感謝委員建議，已廣泛蒐集國內外案例於第三章(策略)及第五章(公路韌性因素研析)。本計畫於第二年工作「 <b>調適能力指引</b> 」將持續蒐整國內外相關案例，並增列實務探討與案例分析。	同意。
3.報告書 5-8—5-9 頁提出影響公路系統韌性之因素探討：影響沿海公路系統韌性之因素初探： (1) 沿海公路受到強降雨的衝擊，可能面臨路基淘空、路段淹沒與運輸中斷等韌性影響，建請增列國內 106 年 6 月間省道	感謝委員建議，已廣泛蒐集國內外案例於第三章(策略)及第五章(公路韌性因素研析)。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
<p>台 2 線金山至三芝段，因強降雨道路淹沒、中斷運輸等因素加以案例探討。</p> <p>(2) 另強降雨與風暴潮時面臨替代道路的中斷，海平面上升時則面臨替代路段淹沒等，建請增列國內西部濱海台 61 線台西至布袋路段，加以分析探討與調適因應對策。</p>		
<p>4.報告書 5.4 強降雨加劇對公路系統交界處衝擊分析：在面臨極端事性衝擊時，運輸系統間可能相互影響，導致系統無法正常營運，對國道、省道與快速道路間設施跨系統介面的高淹水風險路段，於表 5.4-1、5.4-2 建請列舉提出規劃調適因應對策。譬如：</p> <p>(1) 國 1 五股交流道與台 64 線系統交界處，高淹水風險衝擊路段，請提出規劃調適因應對策。</p> <p>(2) 國 3 土城交流道與台 3 線交界處，高淹水風險衝擊路段，請提出規劃調適因應對策。</p> <p>(3) 快速公路台 64 線與台 3 線公路系統交界處，高淹水風險衝擊路段，請提出規劃研擬調適方案。</p>	<p>本計畫於第 5.4 節題目為「強降雨加劇對公路系統交界處衝擊與協調機制」，因此 5.4.1 節先分析強降雨加劇對公路系統交界處衝擊，5.4.2 節說明淹水類型與成因，第 5.4.3 節再提出強降雨加劇對公路系統交界處衝擊與溝通機制(另外，公路系統交界處高淹水點位分析表因涉及風險資訊揭露故移至附冊九)，詳見 P5-38~5-44。</p>	<p>同意。</p>
<p>5.報告書 6-1:本計畫之後續工作重點(2)研提公路系統強化調適機制與方法，建請增列補述「實務探討與案例(國內外)分析」。</p>	<p>感謝委員建議，已廣泛蒐集國內外案例於第三章(策略)及第五章(公路韌性因素研析)。建議於第二年工作「調適能力指引」持續蒐整國內外相關案例，並增列實務探討與案例分析。</p>	<p>同意。</p>
<p>6.附錄 1-1 服務建議書審查四、評選委員之”服務單位、職稱”，建請修改與工程會資料庫相符較妥適。</p>	<p>遵照辦理。已將服務單位與職稱修改為工程會資料庫之資訊。為配合第七次工作會議結論，已將附錄二服務建議書審查意見回覆表刪除。</p>	<p>同意。</p>
<p>7.報告書 6-1：做為本計畫滾動調整(運-漏字)輸系統氣候候變遷調適策略...、[附 1-2]...與因應之條(修正為”調”)適作為[]...條(修</p>	<p>遵照辦理。已修改漏字與錯別字。為配合第七次工作會議結論，已將附錄二服務建議書審查意見回覆表刪除。</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
正為”調”)適工作的參考。		
8.報告書 3-10：風險管理或調適計畫資料庫...；高(修正為“公”)路總局則尚未建立、報告書 4-7 表 4.1-4(修正為“海”)運系統調適行動計畫	遵照辦理。已修改漏字與錯別字，詳見第 4.1 節。	同意。
<b>陳委員進發</b>		
1.報告書 2.6 節，有關風險評估的時間範疇，文內建議至少 30 年，針對橋梁建議可採 100 年，設施管理機關會有兩個疑義，(1)時間範疇是本報告建議值還是國外有建議值(2)風險評估的時間範疇如何定義或使用？是生命週期還是未來的時間內，如何使用請具體說明以利應用。	(1)時間範疇為 ISO 14091 所建議，該標準建議操作風險時考量不同時間軸，包含過去 30 年、未來 30 年與未來 100 年。 (2)在推動調適工作上建議至少採用未來 30 年做為評估的時間軸，係綜合考量系統生命週期與未來氣候變遷資料可取得狀況，除非設施壽年很長（如橋梁）或是面臨較長期的氣候變遷現象（如海平面上升）等情況，則可配合設施生命週期拉長評估時間軸。	同意。
2.報告書 3.4 節的措施 1-3 談到調適實務案例並以蘇花改為例說明，解釋如何迴避高風險潛勢地區...，其實若再增加以南橫台 20 線勤和復興段目前再次遭受複合型災害為例說明會更加實用，提供以下資料供參。 「省道遭受大規模災害修復策略」： (1)就時間軸而言，分短期搶修供緊急維生通行，中期安全提升供基本維生通行，長期復建供恢復一般省道功能。 (2)台 20 線勤和復興段於莫拉克及 101 年 610 水災期間，因豪雨產生複合型災害，致公路對岸布唐布納斯溪擴張，上游巨量土石形成土石流流入荖濃溪，造成淹沒公路及約 50 公尺的淤高，且形成堰塞湖，潰壩後常攻擊短期施作的公路便道路基。	感謝委員建議，已補充南橫台 20 線勤和復興段案例，詳見 P3-36。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
<p>(3) 因此，進入中期安全提升的設計標準，就是以勤和復興段，曾遭受過最大歷史災害—莫拉克風災引致對岸土石流形成堰塞湖情境，為設計承受容量極限。</p> <p>(4) 本次 8 月豪雨-西南氣流帶來巨大雨量，不僅布唐布納斯溪土石流再次淤高荖濃溪河床，更新增玉穗溪因擴張巨量土石產生土石流流入荖濃溪河床，兩相加成，形成災後，淤高 10 公尺且衝毀溪口中期便橋段，惟其餘橋梁段尚於設計容量內並無損壞。</p> <p>(5) 就規劃設計考量而言，短期搶修是快速搶通、即壞即修。中期目標是提升通行可靠度，輕量縮短修復時間。因此明壩克露橋，設計原則以單柱式的樁構架設計，承受土石流攻擊，梁底高程以堰塞湖高程加 1m 出水高，橋面板以輕量型的鋼梁搭配單車道寬度橋面版，輕量設計，目的就是萬一遭洪水沖毀，可快速架梁修復通車。惟此次災害發生於莫拉克水災時也沒發生土石流的玉穗溪，兩條土石流同時加成堆積於勤和復興段，確實已大幅超過中期提升的設計容量。</p> <p>(6) 就長期而言，在水文地質尚未穩定前不見得有路線方案，所以在面對極端災害的調適作為，不見得有長期方案，甚至中期方案也會因災害規模不斷擴大而重複致災，因此原先相關因應氣候變遷報告內，曾有提及以曾遭受過最大歷史災害為設計標準，建議可再審視是否足敷使用。</p>		

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
3.公路系統遭受氣候衝擊的頻率以及強度與日俱增，規劃階段針對公路建設之全生命週期不見得有長期方案，建議酌修 5.1 內容，在不停重複致災區域，將水文地質地貌變異性調查評估納為可行性研究之前期作業程序，例如中橫及南橫之實務調適，如此較符實際。	(1)5.1 節為當前綜合規劃與可行性評估作業流程。 (2)可行性評估前的環境變異性調查與評估是很好的建議，已提出規劃階段調適作為-第一階段之評估流程，增加蒐集氣候變遷情境與氣候資料蒐集與分析步驟，並加強說明應將未來工址地質及地形變化納入考量，詳見第 5.2.1 節。	同意。
4.報告書 5-7 頁提到影響山區公路韌性的因素，山區公路影響路廊的最大韌性因素為流域复合型災害為最大的影響，建議納入；報告書 5-9 頁提到影響沿海公路韌性的因素，建議納入台 17 線的地層下陷為影響韌性因素。	感謝委員建議，本計畫已針對山區公路系統之強降雨、強風、高溫加劇氣候衝擊分析，發現強降雨為最重要且急迫性高之氣候壓力因素，因此本計畫建議於下一期加強山區公路強降雨造成之复合型災害案例分析。另外，地層下陷雖係人為因素造成，然確實將影響公路韌性，已將「經過地層下陷地區」視為影響因素納入考量。	同意。
<b>夏委員明勝</b>		
1.本研究針對「調適」一詞，較偏重在極端氣候所造成的偶發性事件之處置，例如強降雨、強風、暴潮、高溫等等，惟針對本土性區域環境危害因子所造成的經常性事件，例如活動斷層、地層下陷、高鹽害…等等，是否亦可涵括為調適的一部分，做為交通設施規劃階段的必要考量。	(1)參考國內外氣象科學研究與國內運輸系統過往於極端天氣事件遭受的損害聚焦於 5 大氣候壓力因素：強降雨、海平面上升、高溫、強風與暴潮。 (2)我國環境危害因子，因部分屬天然形成、部分屬人為，非因氣候變遷加劇或變化，故不納入考量。	同意。
2.對極端環境(含氣候與地域)時，做為交通規劃者，係採一致性取柔性順水推舟的思維去規劃？抑或剛性築牆抵禦方式去規劃？還是針對個案特性？導致作法及結果會有所不同。檢視本報告對各單位訪談內容及研究單位所提出之建議，似仍授權各主管權責機關因地制宜。惟檢視各機關之作法，均觀念傳統及具機關本位狹隘性。宜在上層的指導原則中闡明規劃思維方向，跳脫本位及傳統思維，跟上世界趨勢，做前瞻	敬悉。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
性之嘗試。		
3.臺灣雖然處於亞熱帶地區，不過近幾年極端氣候下，我們面對霸王級寒流頻率似乎有逐漸上升，且在新聞上常常看到高海拔地區突然會降雪，印象深刻公路總局甚至還特地發布部分山區路段預警性封路，因此在本計畫中，針對報告書 3-4 頁所提氣候狀態的範疇下，建議得將急凍天候納入影響因子之一。	本計畫之影響因子係參考國內氣象科學研究與國內極端天氣事件，後續再視科學研究之發展，透過滾動檢討之機制釐清急凍天候是否納入影響運輸系統營運之因子。	同意。
4.檢視報告內容(第四章開始)，大概還是 Bottom Up(由下而上)概念，透過目前推動的個案計畫(即行動計畫)，去蒐整、去歸納，研擬出本部調適行動方案之相關策略與措施，以呼應環保署的行動綱領。期待在下一期行動方案中，研究單位能夠以 Top Down(由上而下)概念去衍生出相應的行動計畫。例如水利系統與交通系統跨系統間之協調合作；或前面所提的急凍天氣下，山嶺區的公路如何調適之指導原則與行動計畫。	第四章的內容係先透過蒐集當期的調適行動計畫，已分析機關當前的調適行動計畫缺乏的內涵，研提新一期調適行動方案研擬的建議，期末階段以提出具體化的行動計畫方向建議，詳見第 4.2.3 節。	同意。
5.本研究報告之主題為「公路系統規劃階段強化調適能力之探討」，惟報告書 3-6 頁中所列訪談單位為：「高公局、桃機公司、及高鐵公司」，缺最主要之公路主管機關公路總局，是否恰當？公路系統尚包含許多其他道路主管機關，例如市區道路，市區道路系統大多在人口密集區，受到異常天候影響尤鉅，建議亦應瞭解相關單位作為，以使本報告更具全面性。	此計畫為複合性任務，第一個層次是運輸系統調適策略的滾動檢討，而另一個研究題目才是公路系統規劃階段強化調適能力之探討，所以團隊針對海、空、鐵路等機關就它們的行動計畫還有調適的作為進行訪談，做為滾動檢討策略的參考依據。另外，本計畫之研究範疇公路系統包含國道、省道與快速道路，惟不包含市區道路，詳見第 1.3 節。	同意。
6.報告書 3-22 頁分享法國生態部對調適納入相關規範的案例中，認為道路排水規範不需檢討，這對於我們所認知的因應強降雨對策	敬悉。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
<p>構想，直觀上會去檢討現行排水能力設計標準，因此所引法國實際案例似乎無法理解，這應該是各國面對環境不同，經驗有差異所致。但是其將調適作為納入相關規範的作法卻是我們應該學習的作法，將氣候調適作為列入規範，對於道路主管機關具有政策指導與強制性，如此方能在執行面有效落實。</p>		
<p>7.公路系統在公路法第 2 條中有明確定義，包含國道、省道、市道、縣道、區道及鄉道…等，而本研究範疇僅針對前兩者，且快速公路本為省道的一部分，有關報告書 1-6 頁敘述方式建議適度調整，避免混淆。</p>	<p>已調整本計畫研究範疇之說明，包含國道、省道與快速公路，詳見第 1.3 節。</p>	<p>同意。</p>
<p><b>土木技師公會</b></p>		
<p>1.現階段規劃設計皆照部頒規範執行，除了訂定指引手冊外，是否可建立一個範例做為執行調適的參考，更好的狀況是可以有一些量化的資料參照。</p>	<p>本計畫目標為研擬指引，並沒有到達給予量化數據層次，建議可由公路設施管理機關再進行示範計畫的研擬，蒐集量化資料。</p>	<p>同意。</p>
<p>2.如可編列經費給規劃單位，可再就調適的工作做推動。</p>	<p>經費編列工作建議回歸公路設施管理機關就規劃階段因應氣候變遷的需求編列所需研究或計畫費用。</p>	<p>同意。</p>
<p><b>公路總局</b></p>		
<p>報告書第 6 章 P.6-1~P.6-2「研提公路系統強化調適機制與方法」項目提及持續辦理風險資訊移轉作業之機關溝通與移轉作業；惟該資訊移轉作業已於去(109)年辦理過，請確認。</p>	<p>此內容為誤植，已修改對應內容。</p>	<p>同意。</p>
<p><b>高速公路局</b></p>		
<p>1.目前局內對於橋梁的養護有進行滾動檢討，並照部頒規範執行，特有狀況則是搭配局內手冊的方式處理，如有需相關資料可再提供參考。</p>	<p>敬悉。</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
2.目前計畫是針對公路規劃階段，但臺灣發展至現階段新的路段已較少，較多以養護工作為重，且有許多情況並不是透過選線或迴避即可達成風險的降低。	規劃階段即須以設施全生命週期的概念與考量進行規劃，此外，現在公路系統都建置完成，大量工作都在維護管理部分，團隊以全生命週期的概念訪談機關，所提到的維護管理相關考量，儘量納入規劃階段的作業。	同意。
<b>高鐵公司</b>		
1.報告書附冊第 1-12 頁，尚「為」修改為尚「未」。	已修改錯別字，詳見附冊一。	同意。
2.報告書 1-14 與 15 頁的貴局應修正成貴「公司」或貴「司」。	已修改，詳見附冊一。	同意。
3.報告書 3-12 之問題似漏了回應內容，請再確認。	已補充回應內容，詳見附冊八。	同意。
<b>運研所運輸計畫組</b>		
1.本案期中報告已蒐集分析國外最新調適策略及調適措施發展趨勢，並依本所前期相關研究成果滾動檢討調適策略，報告書架構完整，內容詳實。	感謝肯定。	同意。
2.圖 3.4.1 鐵公路氣候變遷風險評估流程與方法，是否納入第五章公路系統規劃階段強化調適能力機制，進行相關評估檢討，建請補充說明。	鐵公路的風險評估係針對係有公路系統，可做為規劃階段時的背景參考資料。	同意。
3.報告書 5.4 節強降雨加劇對既有公路系統交接處衝擊分析，似為養護階段強化調適能力之探討範疇，是否屬本（規劃）階段調適能力探討之對象，建議再予確認。	強降雨衝擊公路系統交接處之盤點係先透過可掌握的風險分析資料，以結果論思考後續如何可以在規劃階段降低影響或加強交接處不同路權主管機關的溝通協調機制。	同意。
<b>本所綜合技術組</b>		
1.滾動檢討我國運輸系統調適策略： (1) 文獻回顧中，除“國際氣候變遷調適策略及措施發展趨勢”外，“國外公路系統規劃階段強化調適能力之作法”亦可做為運輸系統調適策略滾動檢討之參考。 (2) 在表 3.2-1~表 3.2-6 機關(構)推動策略的現況缺漏桃機公	遵照辦理，詳見第三章。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
<p>司訪談成果，建議補充。</p> <p>(3) 在四大策略 15 項措施中，部分措施有新增提供案例，後續建議各項措施都有一個案例，提供設施管理機關應用參考。</p> <p>(4) 其他尚未訪談之單位，請依規劃辦理。</p> <p>(5) 建議後續調整之策略或內容補充說明，可於報告書中用特殊標示方式呈現。</p>		
<p>2.盤點我國現有運輸系統調適行動計畫，提出各部屬設施權責機關(構)研提「我國氣候變遷調適行動方案(112-116 年)」之行動計畫強化方向建議，並配合環保署安排時程，適時彙提各部屬設施權責機關(構)研提「我國氣候變遷調適行動方案(112-116 年)」之行動計畫（初稿）。</p> <p>(1) 應隨時與環保署(或其乙方團隊)聯繫溝通，掌握目前下一期調適行動方案之作業時程及內容規劃，以掌握本工項之辦理進度。</p> <p>(2) 強化方向建議應配合環保署後續在「我國氣候變遷調適行動方案(112-116 年)」之相關作業規定，進行滾動調整。</p> <p>(3) 後續完成強化方向建議，如何推廣各部屬設施權責機關(構)，請再補充說明。</p>	遵照辦理，詳見第四章。	同意。
<p>3.探討公路系統規劃階段影響韌性強度之因素與研提強化調適能力之機制與方法</p> <p>(1) 報告第 5.2 節，影響公路系統韌性之因素探討：</p> <p>A. 請補充說明山區公路、平原公路及沿海公路之範疇界定，建議參考公路相關法規之公路類型，並納入海平面上升、暴潮溢淹</p>	遵照辦理，詳見第五章。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
<p>等氣候變遷衝擊因素考量。</p> <p>B. 公路系統組成之定義或項目應更明確描述。</p> <p>C. 表 5.2-1~3 影響結構穩定性一詞之描述較含糊，建議修正較清楚對韌性影響之描述。</p> <p>(2) 報告第 5.3 節，公路規劃階段強化調適之機制與方法：</p> <p>A. 建議可與第 2.4、2.5 節回顧之問題建立關聯性敘述。</p> <p>B. 研究團隊建議之流程機制與作法，建議應透過專家與實務機關訪談討論，並據以修正調整，以務實建議之作法。</p> <p>(3) 報告第 5.4 節，分析強降雨加劇對公路系統交通處衝擊，建議加以了解目前公路管理機關遭遇的問題，並提出溝通協調機制建議。</p>		
<p>4.辦理氣候變遷專業知識推廣課程規劃及教育訓練：在期中報告中，主文並無特別說明教育訓練辦理情形，僅列於附冊之調適專業教育訓練紀錄及工作會議紀錄中，建議後續在期末報告書中補充說明。</p>	<p>由於教育訓練辦理情形屬於調適知識推廣與本文研究重點之關聯性不強，因此僅列於附冊，已將專家提及停車策略之內涵-防災與調適差異之重點整理於第 3.2 節補充說明。</p>	<p>同意。</p>
<p>5.其它工作項目</p> <p>(1) 後續請繼續配合辦理。另已協助彙整 109 年交通部「能力建構成果報告」、109 年「維生基礎設施領與行動計畫成果報告」及成果報告簡報部分，後續亦請納入報告中。</p> <p>(2) 已完成工項，建議報導文章調整至附冊，並提出文章報導方式。</p>	<p>(1) 期末報告將 109 年交通部「能力建構成果報告」、109 年「維生基礎設施領與行動計畫成果報告」及成果報告簡報的彙整工作做呈現。</p> <p>(2) 已將報導文章調整至附冊。</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
6.研提「我國氣候變遷調適行動方案(112-116年)」之行動計畫強化方向建議：研究團隊彙整及檢討我國現有運輸系統調適行動計畫，並依據國內外調適計畫研擬相關指導原則，提出各運輸系統設施權責機關(構)研提新一期調適行動方案(112-116年)時可強化之方向建議。建議後續配合環保署規劃調適行動計畫建議，持續滾動修正。	遵照辦理。	同意。
7.公路系統規劃階段影響韌性強度之因素與研提強化調適能力之機制與方法：目前僅進行相關文獻蒐集及初步規劃，建議後續透過專家與實務機關訪談，持續強化內容之實用性。	遵照辦理。後續將透過工作坊與專家學者座談會的辦理強化研擬之公路系統規劃階段強化調適能力之機制與方法的實用性。	同意。
<b>主席結論</b>		
1.此計畫有2個目的，一為滾動檢討整體運輸系統的調適策略，另一為探討公路系統規劃階段強化調適能力之機制與方法，請團隊檢視與調整報告之呈現內容，使二者的論述更為清楚。	遵照辦理。已於第1.5節報告章節架構加強說明兩大研究主題的區別，並於各章前言加強說明以利掌握其關聯性，詳見P.1-10。	同意。
2.此計畫雖以規劃階段為題，但在規劃階段時即需考慮未來設計、施工與營運管理時，所有會面對到的氣候變遷衝擊，以全生命週期的概念強化整個系統的調適能力。此外，透過文獻回顧的方式提供實務操作的範例，確保公路系統在面對氣候變遷時能強化其韌性，包括耐受力、應變力、回復力、備援力等。	感謝委員提點，規劃階段即須以設施全生命週期的概念與考量進行規劃，因此，團隊以全生命週期的概念進行機關訪談並將所提到的維護管理相關考量，納入規劃階段的作業。	同意。
3.研究團隊透過文獻調查方式探討公路系統規劃階段影響韌性強度之因素，以及研提強化調適能力之機制與方法，建議後續透過專家與實務機關訪談，持續強化內容之實用性。	遵照辦理。已透過工作坊與專家學者座談會的辦理強化研擬之公路系統規劃階段強化調適能力之機制與方法的實用性，詳見附冊四及附冊五。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
4.報告書 5-13 頁，研究團隊於圖 5.3-3 工程研究與評估納入氣候變遷調適中新增風險評估流程的部分，請研究團隊檢視修訂。	遵照辦理。已依據意見調整，並透過座談會、工作坊等綜合討論確認其合理性後，提出規劃階段調適作為-第三階段之評估流程，詳見 P.5-10。	同意。
5.研究團隊探討影響公路系統韌性因素，將道路區分山區公路、平原公路及沿海公路，因沿海公路與山區公路及平原公路區域重複，建議參考公路相關法規之公路類型劃分，並納入海平面上升、暴潮溢淹等氣候變遷衝擊因素考量。	遵照辦理。研究團隊將依據《公路路線設計規範》重新分類公路類型並將海平面上升、暴潮溢淹等氣候變遷衝擊因素納入對應之公路類型探討，詳見第 5.3 節。	同意。
6.期中報告審查原則通過，請研究團隊將與會委員及機關代表意見列表回應，並請研究團隊後續依本所出版品印製相關規定撰寫報告，於期中報告後納入每月工作會議查核事項。	遵照辦理。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

期中 期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：IOT-110-TCF004

計畫名稱：公路系統規劃階段強化調適能力之探討(1/2)

執行單位：鼎漢國際工程顧問股份有限公司

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
<b>陳委員永明</b>		
1.文獻回顧完整，值得肯定。	感謝委員肯定。	同意。
2.修正後的調適策略與措施合理且完善，可反應運輸系統未來的調適方向與推動內容。	感謝委員肯定。	同意。
3.報告書所提之調適措施與案例，國內案例雖然可以對應調適措施，但在氣候情境連結性不若國外案例具體，如蘇花改計畫主要為現況描述，建議適度說明此案例的參考性及未來可強化的部分。	目前國內實務案例確實大多無考量未來氣候情境，已補充論述並加強說明蘇花改計畫案例，請參見 3.4.1 節。	同意。
4.關於未來推動下一期調適行動計畫，檢討得知調適行動方案缺乏氣候變遷情境資料應用、說明、使用等，就此問題的改善推動建議為何？建請補充說明	感謝委員提點，已補充說明調適行動六大步驟以利各機關推動下一期調適行動計畫，其中步驟 2 為盤點與掌握未來氣候情境下的氣候衝擊資料，請參見 4.2.4 節。	同意。
5.公路系統與前面所述運輸系統策略之關聯性較薄弱，如公路系統提出衝擊鏈分析方法，雖然有在 ISO 及相關國外文獻提及，但只說明可在公路系統使用，並未說明是否亦可用於鐵路、空運及海運，且文獻回顧亦未提及此衝擊鏈分析方法，建議加強前後連結說明。	(1)由於「運輸系統調適策略」與「公路系統規劃階段強化調適能力之探討」兩者之研究範圍不同，故關聯性較薄弱；後者可視為 1-3 措施之行動計畫，已補充論述於第五章前言，以加強前後連結說明。 (2)期中報告依據與計畫內容之對應關係酌刪文獻回顧之篇幅，部分內容編入附冊供參。本計畫提出之衝擊鏈分析方法係參考日本於 2019 年訂定之《氣候風險評估及調適指南》，可運用於整體運輸系統(包含陸海空)，已補充納入並加強前後連結說明。請參見 2.3.2 節。 (3)已補充 5.3.1 節加強論述衝擊鏈分析方法之文獻出處。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
6.公路系統衝擊鏈分析方法目前多為質性說明，後續建議可加強量化方法說明。	目前國外指引只有設計指引可能有數據建議，數據之生成來自經驗累積，國內目前沒有累積足夠的數據基礎提出進一步量化的標準，有待各界持續努力。	同意。
<b>劉委員霽</b>		
1.報告書 2-1 頁：有關氣候變遷對運輸系統衝擊之說明，雖非本計畫重點，但對不是很熟悉這個問題的讀者而言，2.1 節內容似乎略顯過於簡單，所列愛爾蘭文獻 (P2-17) 亦指出其調適標的之一為增加氣候變遷對運輸系統衝擊之理解，謹建議適度增加本節內容。	已補充《IPCC 氣候變遷第六次評估報告 (AR6) 之科學重點摘錄與臺灣氣候變遷評析更新報告》之論述，請參見 2.1 節。礙於時間有限，擬下一年度適度補充。	同意。
2.報告書 2.3 及 2.4 節所列各文獻，對風險評估、公共財政，乃至保險計畫或多或少均有相當討論，顯見氣候變遷調適方案能否成功，應有相當比重仰賴健全的財務評估與配置。報告書 5-10 頁所提之財務研析及風險管理評估計畫應僅屬針對個案之評估，在層次上與 P2-13 所列「整合氣候韌性能力於國家財政架構」並不是同一個層次，仍建議針對此點再做較整體且深入的探討。	(1)感謝委員提點，此計畫屬《溫管法》指導下之調適行動方案，主要目標為探討「維生基礎設施領域」之交通部「運輸系統」調適策略與措施，而非從國家財政架構層面探討。 (2)針對本計畫之研究範疇，已補充說明調適行動六大步驟(包含預算編列)，以利各機關推動下一期調適行動計畫，請參見 4.2.4 節。	同意。
3.報告書 3-24 頁：本節內容其實寫得相當充實且精彩，然在「運用或研發新科技、材料、工程工法與設備」部分，有點薄弱，建議酌予補強。	已補充說明「運用或研發新科技、材料、工程工法與設備」鐵公路運用部分，請參見 3.4.1 節。	同意。
4.報告書 3-27 頁：措施 1-5 討論強化跨運輸系統的運輸連結性，所舉案例雖為公路總局與地方警察局就省道與地方道路之合作連結，然似乎並非全然地跨運輸系統，建議可再補充案例。	已補充跨運輸系統案例-日本成田國際機場，並加強措施 1-5 案例論述，請參見 3.4.1 節。	同意。
5.報告書 5-9 頁：圖 5.2.3，「辨識影響調適能力之氣候因素」放在「計畫路線方案研擬與評估」之後，在程序上似不盡合理，建議	已修正圖 5.2.1 及圖 5.2.3，請參見 5.2 節。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
再檢視流程圖之合理性。		
<b>方委員文志</b>		
1. 整體而言期末報告相當完整，值得肯定。	感謝委員肯定。	同意。
2. 報告書 2-10 頁：過去(過去 30 年)、現況、不久的將來(未來 30 年)，因橋梁跨越河川、又橋梁建議採用 100 年做為評估範疇，過去 30 年宜考量 25 年是否教適宜。	感謝委員意見，該章節係屬文獻回顧，僅摘述 ISO 14091 所建議之時間範疇。該標準建議操作風險時考量不同時間軸，包含過去 30 年、未來 30 年與未來 100 年。而在推動調適工作上建議至少採用未來 30 年做為評估的時間軸，係綜合考量系統生命週期與未來氣候變遷資料可取得狀況。	同意。
3. 簡報第 57 頁，將公路區分為山區公路及平原公路，與臺灣公路之區分方式不同。一般而言會以山區、丘陵地區、平原地區和沿海地區，而沿海地區才有海平面水位上升問題。因此建議在引用國外資料時，記得轉換切合國內使用之工程術語，以利工程規劃設計人員參考。	交通部「公路路線設計規範」依地域特性分類：山嶺區、丘陵區、平原區、市區。本計畫考量氣候韌性影響因素擬區分為山區公路系統與平原公路系統(含沿海公路)2 類型加以探討。	同意。
4. 國家地震中心研發出之結果認為高速公路及橋樑有一設計地震力供設計使用，亦有最大地震力作檢查使用，根據設計地震力的規範設計出之橋梁，在最大地震力時容許受損，但不容許橋梁倒塌。因此國道高速公路一樣按照該規範，如 921 地震時基本上附近國道橋梁皆未受到嚴重損壞，故認為此設計原則在未來可以參採應用。	敬悉。	同意。
<b>蘇委員茂林</b>		
1. 報告書 3-23 頁 (措施 1-3)：檢視既有的規範當前對於氣候因子的考量，並針對未來的氣候影響更新應考量的氣候因子，…檢討後須調整之規範：除原氣候變遷衝擊之項目，「道路鋪面設計」外，建請增列如土石流敏感地，河川沖刷及洪水高漲等高風險地區之	報告書 3.4.1 節措施 1-3 補充說明增列如下： (1) 籌備專家認證和風險評估團隊研擬因應措施。 (2) 如土石流敏感地，河川沖刷及洪水高漲等高風險地區之「橋梁結構相關設施」之設計規格。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
<p>「橋梁結構相關設施」之設計規格；應請專家籌備認證和風險評估團隊研討，從根本提高安全因子、考量因子，俾利修改部頒規範據以執行。</p>		
<p>2.報告書 3-24 (措施 1-4)公路工程施作時考量降雨的影響，對推廣應用「多孔瀝青透水材料」降低雨天的積水與揚水；惟都市道路考量強降雨，颱風的影響，經常造成都市地下道及低窪匯集成河道，如 90 年 9 月 15 日~9 月 19 日納莉颱風台北市地下道及捷運地下室淹水嚴重，應請研擬運用其他工法或工程材料加以著墨運用；採用新工法、新材料，建請需有國外成功案例及具有公正力的單位認證。</p>	<p>報告書 3.4.1 節措施 1-4 補充說明，增列如下：</p> <p>(1)多推廣應用透水鋪面及排水鋪面，在高速公路部分應用多孔瀝青透水材料，降低雨天的積水與揚水。</p> <p>(2)鼓勵研發或採用國外成功案例及具有公正力的單位認證之新工法、新材料等。</p>	<p>同意。</p>
<p>3.報告書 3-41 頁 (措施 4-3)：港灣構造物維護管理系統：於檢測資料模組欄內，除經常巡查、定期檢測外，有關特別巡查，是否包括遇天然災害，如颱風、地震、強降雨來襲後，應作加強巡查，必要時採「非破壞檢測」請加以備註(南方澳大橋斷橋吊索鏽蝕斷裂)。</p>	<p>(1)表引自民 107 年出版《港灣構造物維護管理制度與資訊系統之推動與應用》</p> <p>(2)經查有關「特別巡查」包括重大災害或事故發生後(颱風過後或地震震度大於 4 級)或巡查發現顯著異狀。</p>	<p>同意。</p>
<p>4.報告書 3-44 頁：坡災成因往往不單純只肇因於設施本身，部份大型邊坡坍塌問題之主要成因與上方山坡地治理有關，根據設施權責機關過往經驗，協調成效並非十分理想，貴公司提出「歐盟氣候調適平台實務案例」，期強化氣候調適跨域整合之推動，尤其「邊坡路權外管理」，請說明此案例對公路系統未來所面臨的危害，其發揮之成效？</p>	<p>(1)「歐盟氣候調適平台實務案例」提供各國調適數據彙整與分析，係屬調適跨域之整合及協力推動，非針對「邊坡路權外管理」之案例探討。</p> <p>(2)關於「大型邊坡坍塌問題」權責單位分工與調整整合，已補述國內實際案例，例如 104 年蘇迪勒颱風侵襲台 9 甲線烏來山區，做案例分析與災害處理模式，請參見 3.4.4 節。</p>	<p>同意。</p>
<p>5.報告書 5-4 頁公路系統規劃階段作業流程：有關第三階段提及「經濟效益評估與財務研析」，應先</p>	<p>(1)第 5.2.3 節第三階段參考我國現行公路系統規劃階段作業流程(含「用地取得分析」、「工程數量與經費概估」</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
<p>做路線對社會經濟效益評估；與工程成本預算營運維護管理財務研析後，再辦理方案路線「用地取得分析」較妥適。譬如某新闢路線須鑽挖隧道，架設多座橋梁等，工程經費龐大且維護營運管理費頗高，但研析對未來產業經濟效益有限，最後此規劃路線僅施作部分道路、橋梁，再辦理「用地取得」作業，以免遭民怨。</p>	<p>及「經費財務研析」等），納入調適概念之作業步驟(即「氣候變遷風險評估」)。</p> <p>(2)由於「經濟效益評估」需考量「用地取得成本」，實作時可視計畫實際需要彈性調整作業順序，本計畫提出之規劃流程僅供參考。</p>	
<p>6.辦理累積完成氣候變遷專業知識教育訓練之場次，除期中階段完成1場次外，建請期末階段增加場次，並採分區辦理較佳。</p>	<p>本計畫累積完成2場氣候變遷專業知識教育訓練之場次辦理。為大力推廣調適觀念，2場次皆採用線上課程方式，讓更多對調適有興趣的學員皆能參與。</p>	<p>同意。</p>
<p>7.建請應有「跨部會之專責主管單位」，才能確實發揮協調整合功能。</p>	<p>依據《溫管法》規定，有關氣候變遷調適工作，環保署為跨部會專責單位。</p>	<p>同意。</p>
<p>8.誤植部分：</p> <p>(1) 報告書 3-6 頁漏字：海域與陸域設施「及」設施之營運</p> <p>(2) 報告書 4-6 頁漏字：完「成」機場海岸線堤防設施</p> <p>(3) 報告書 4-13 頁：圖 4.2.2 原則 4 中請確認編號 4 (前編號 1,2,3 是否漏掉)。</p> <p>(4) 報告書 4-15~4-18：請補上表 4.2-1 表格名稱。</p> <p>(5) 報告書 5-7 頁錯字：數據「收」集，請修改為「蒐」集。</p> <p>(6) 報告書附冊 1-11 頁錯字：設備要「低」抗，請修改為「抵」抗。</p>	<p>感謝委員指正，已檢查並修正漏字與錯字。</p>	<p>同意。</p>
<p><b>陳委員進發</b></p>		
<p>1.報告書 4-11 頁：部長於部務會報指示各運輸系統設施權管機關(構)在交通部「氣候變遷運輸部門減緩與調適推動小組」下，成立氣候變遷減緩與調適工作小組，共同落實推動 2050 淨零排放及調適作為。其中指示調適行動遵循運研所建議之 6 大步驟，分</p>	<p>感謝委員提點，已補充說明調適行動六大步驟以利各機關推動下一期調適行動計畫，請參見 4.2.4 節。</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
<p>別為 1.編列調適預算 2.盤點與掌握氣候衝擊資料 3.盤點調適缺口 4.訂定風險評估方法 5.研擬與推動調適計畫 6.監控調適計畫，目前公路單位持續辦理中，建議宜配合部務會報指示，補充調適行動 6 大步驟，以利協助公路單位參考應用。</p>		
<p>2.簡報第 35 頁，本局實際運用調適行動 6 大步驟，邀請局內共組室主管研商發現尚有疑義，步驟一為何為編列預算，但尚未盤點缺口如何申列籌編預算，煩請說明。</p>	<p>行動計畫六大步驟基本上是彈性靈活的，編列預算擺第一步是考量業務單位，即公路總局、高公局、桃機公司之同仁是否有能力自行盤點並做出氣候資料，若有需要初期經費委託相關單位進行盤點作業，即需編列預算。而如果本身有能力自行可以盤點則可能不需這部分的經費。</p>	<p>同意。</p>
<p>3.報告書 5-19 頁：依據本節引用交通部統計要覽交通天然災害概況歷年統計資料及臺灣氣候變遷科學報告 2017—衝擊與調適面向等，彙整影響臺灣公路系統之五大氣候壓力如下：強降雨、強風、暴潮、高溫、海平面上升，以上 5 大氣候衝擊可否直接引用於目前第 2 步驟「盤點與掌握氣候衝擊資料」？建議補充說明。</p>	<p>(1)關於氣候變遷影響可針對影響臺灣公路系統之五大氣候壓力(如強降雨、強風、暴潮、高溫、海平面上升)作探討。 (2)依據調適行動六大步驟，步驟 2「盤點與掌握氣候衝擊資料」蒐集與分析，其方法可參考《ISO 14091 氣候變遷調適-脆弱度、衝擊與風險評估指引》，請參見第 2.3.1 節。</p>	<p>同意。</p>
<p>4.報告書 5-19 頁：有關調適行動第 3 步驟-「掌握運輸系統未來氣候情境下的風險」，對於不同尺度公路系統可能產生的影響/衝擊，期中報告針對公路系統所在之地域特性尚有沿海公路，此次未見，原因為何？建議補充說明。</p>	<p>(1)交通部「公路路線設計規範」依地域特性分類：山嶺區、丘陵區、平原區、市區。 (2)本計畫考量上述分類，蒐集氣候事件對於公路的影響因素，建議歸納為 2 類型加以探討，區分為山區公路系統與平原公路系統(含沿海公路)以符實際。</p>	<p>同意。</p>
<p>5.報告書 5-38 頁：調適行動第 4 步驟-檢視運輸系統無法承受氣候變遷衝擊的區域或區段，期末報告僅列強降雨分析，此節直接關係行動方案研擬，另其他如強風、暴潮、高溫、海平面上升等 4 項氣候因素之風險點位分析(盤點</p>	<p>研究子題：「強降雨加劇對於公路系統交界處之衝擊與協調機制」為一舉例供參，建議各公路設施主管機關依據其需求，編列預算盤點調適缺口。</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
缺口)可否併同建議以利公路單位參考。		
6.國內所提出的調適行動計畫確實如簡報第 32 頁所提,缺少氣候衝擊分析與風險評估,建議應多加強實例說明,協助設施主管機關未來能真正提出與氣候變遷有關的調適行動計畫。	關於「氣候衝擊分析與風險評估」之操作步驟,可參考《ISO 14091 氣候變遷調適-脆弱度、衝擊與風險評估指引》。將於下一期計畫加強實例說明,以利公路設施主管機關理解與應用。	同意。
7.簡報第 47-48 頁探討設施韌性,需維持營運不中斷,事實上不只是報告內所提之實體設施,還包括系統及網路、人員等皆為必要資產,如此盤點缺口才會完整。	(1)依據《國家因應氣候變遷行動綱領》,運輸系統屬「維生基礎設施」的一環,故於公路規劃階段優先研究設施韌性的提升。 (2)至於其他有關係統、網路、人員等系統資產之韌性,可藉由調適四大策略之相關措施加以提升。	同意。
<b>夏委員明勝</b>		
1.「調適」確實是過去工程人員在交通規劃階段,較為生疏的概念或領域,不過在運研所長期研究投入下,交通部及部屬機關似乎漸漸體認其重要性,這可以從本研究?容看的出來,尤其報告書圖像式點出 5 項氣候壓力因素(強降雨、強風、高溫、暴潮、海平面上升)所造成的衝擊與調適方法,簡單明瞭,值得肯定。	感謝委員肯定。	同意。
2.回顧今年國外相關極端氣候災害,中國鄭州的淹水事件,以及德國暴雨洪災大概是印象最深刻的,該國政府是否有進行檢討,抑或研議因應作為,建議研究團隊能進一步去掌握相關資訊,並納入下一年度文獻回顧的探討對象。	感謝委員提點,相關資訊將納入下一年度文獻回顧。	同意。
3.報告書 2.3 國際氣候變遷調適策略及措施發展趨勢,建議可針對今年聯合國氣候峰會(COP26)決議內容,深入研析探討,抑或於下年度納入工作事項,俾利國內相關機關或主管明確掌握國際脈動。	感謝委員提點,有關 COP26 聯合國氣候峰會繼續追縱,若有提及調適的部分會納入下一年度的文獻回顧。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
4.報告書 2.3.2 先進國家調適策略及措施，該節內容偏重歐洲(歐盟、蘇格蘭、愛爾蘭)，對於其他先進區域，例如亞洲及美洲等地付之闕如，建議得適度納入，抑或於下一年度補充。	本計畫對於歐洲、加拿大、日本等的文獻都有持續蒐集及更新。由於期末報告篇幅過多，因而將日本文獻放在附冊，但此計畫之研究方法亦有參考日本文獻，因目前日本作法較符合國內需要，已調整納入並加強前後連結說明。請參見 2.3.2 節。	同意。
5.報告書 4.2.3 計畫研擬強化方向建議，研究團隊嘗試檢視各機關現行提出之 107-111 年行動方案，對於 P4-18 起歸納出尚可強化之方向，提列 10 點，能否具體點出那些個案計畫，俾利相關機關能知己知彼補充或強化其氣候變遷關聯性。	本計畫於 4.1.5 節綜和檢討分析提出各機關現行調適行動計畫重點及共通性問題，並於 4.2.3 節歸納出強化方向之建議，基本上提列 10 點均為目前各行動計畫須強化的部分。	同意。
6.報告書 5.2 公路系統規劃階段強化調適能力之機制與作業方法，考量可行性研究與綜合規劃部分在工作項目中，其資料之廣度或深度、分析之精度或尺度本就有層次上的差別，因此，對於將氣候變遷因素納入既有規劃流程的構想，建議圖 5.2.1 部分，研究團隊可進一步思考，分列屬於可行性研究的項目，以及屬於綜合規劃的項目，有利公路機關同仁明確參考。	擬於下一年度嘗試分列屬於可行性研究的項目以及屬於綜合規劃的項目，以利公路機關同仁明確參考。	同意。
7.後續年度或未來其他計畫是否有機會提出示範計畫，能否擇 1 處公路路段或橋梁，於可行性研究或綜合規劃階段(例如蘇花安路段、馬祖大橋等)，進行氣候變遷因素分析程序，做為範例參考。	考量研究時間及經費限制，示範計畫建請另案辦理。	同意。
8.報告書第 5 章歸納出，無論在平原或山區公路，強降雨加劇對於國內公路系統的衝擊影響最為劇烈，係目前應優先處理且急迫性高之極端氣候課題(P5-32 及 P5-37)。此亦呼應工程會最近針對高鐵苗栗段邊坡滑動事件，要求鐵公路 4 個單位進行「路權外」	敬悉。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
水因素做通盤體檢，因此除研究內容所提溝通與協調機制外，對於水系流向的掌握亦為重要。		
<b>土木技師公會</b>		
1.報告書 3-17 頁四大策略 15 項措施中，「措施 1-2:迴避高風險潛勢地區，持續受損點位改線或廢線」，惟目前很多既有運輸道路場域無法避免高風險潛勢地區，針對這種情況是否有其他建議的調適措施？建議補充說明。	本計畫提出四大策略 15 項措施為強化運輸系統韌性目的提供多元方法。倘若既有道路已設在無法迴避的地方，可運用其他措施補強。如運用「措施 2-1 建構跨運輸系統預警應變網絡」，藉此強化預警應變力。	同意。
2.報告書 3-24 頁「...在工程施作時考量降雨的影響，多推廣應用多孔瀝青透水材料……」嚴格來說考量強降雨使用 PAC 對排水沒有太大幫助(參考附冊 P1-10 高公局)，目前除了高速公路外，其他公路系統使用 PAC 比例不高，請再釐清。	已補充說明，請參見 3.4.1 節。	同意。
3.報告書 3-25 頁「(1)防洪與透/排水能力…」是否考慮增加「保水能力」？建議補充說明。	已補充「保水能力」，請參見 3.4.1 節。	同意。
4.報告書 3-27 頁「措施 1-5:強化跨運輸系統的運輸連結性」似乎只強調中央管轄道路之連結性，但對大部分民眾而言遭遇之氣候災害，常發生在省道或與地方政府管轄之聯絡道路，且這些道路也伴隨相關的維生管線包含電力、水、電信等，且暴露因素(淹水或坡災潛勢區)及脆弱因素(唯一聯外道路)相對高，關於這點可以加強相關調適措施的說明。	(1)本計畫研究範疇聚焦於國道、省道、快速公路，故以中央管理設施為主要指導對象。 (2)省道或與地方政府管轄之聯絡道路失能之影響，由於涉及地方政府權限，應由中央主動加強與地方合作協調，已補充說明至措施 1-5，請參見 3.4.1 節。	同意。
5.報告書 3-30 頁「措施 2-2:檢討並調整氣候變遷環境下之風險監測機制」目前各單位管轄之運輸系統的監測機制繁多且標準不一，在氣候變遷下本措施應加強敘明或舉例那些風險監測機制是必須特別重視或調整的，例如橋梁監測(沖刷、水位)、地下道隧道監測	本計畫提出四大策略 15 項措施之原則性指導。關於風險缺口，建請由設施機關盤查指認後，再據以檢討並提出。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
(淹水、坍塌)、邊坡監測(落石、滑動)等。		
6.報告書 3-33 頁「措施 3-1:建立分階段復建原則」,災害發生後會依序進行緊急搶救、搶險或搶修,最後再進行復建的動作,建議本措施是否增列復建前的相關原則說明。	氣候變遷調適有別於防災工作,後者重視救災搶修,而前者較似養生觀念,屬長期措施,因此無復建前後之概念。	同意。
7.報告書 3-40 頁,圖 3.4.21 公共工程全生命週期分為 4 個階段,但最近工程會的簡報中已增列為五個階段,分別是計畫、規劃設計、招標決標、工程履約、維護管理,請再澄清。	遵照辦理,已修正圖 3.4.23。	同意。
8.氣候壓力因素中「高溫」的說明中建議增加說明高溫對公路系統的實際影響,例如是否考慮山林野火,雖然依據林務局林火災害潛勢資訊系統過去 10 年自然因素發生之山林野火比例只有約 3.5%,但未來因為氣候變遷是否會增加發生機率,而山林野火可能導致公路邊坡崩塌或落石(例如:110 年發生的阿里山公路山林大火),也是公路系統損害的風險因素之一。	敬悉。	同意。
9.報告書 5-30 頁,圖 5.3.7 調適方法路廊的保護建議增列邊坡穩定工法,可參考圖 3.4.7。	已增列邊坡穩定工法,請參見圖 5.3.7。	同意。
10.報告書 5-32 頁,圖 5.3.9 調適方法請再斟酌加入高溫邊坡野火造成邊坡崩落的調適方法。	已補充說明,請參見圖 5.3.9。	同意。
11.報告書 5-35 頁,圖 5.3.11,強風的氣候衝擊對路段而言應該不會造成橋梁基礎沖刷,請再澄清。	已檢查並修正,請參見圖 5.3.11。	同意。
12.報告書 5-35 頁,平原公路路廊尺度可能造成邊坡野火?與 5-28 頁表 5.3-5 的說明也不一致,請再修正。	已修正並刪除平原公路路廊尺度之邊坡野火,並確認與表 5.3-5 一致,請參見圖 5.3.12。	同意。
13.報告書 5-38 頁,公路系統交界處是否考慮省道與市道、縣道、	本計畫研究範疇為國道、省道及快速公路。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
鄉道等交界處的風險點位分析?		
<b>公路總局</b>		
1.文獻回顧：我國國土屬島國與日本類似，日本於 2018 年 6 月頒布「氣候變遷調適法」並依該法制定「氣候變遷調適計畫」，建議可蒐集與本計畫相關之日本方面資料。	感謝委員意見，擬於下一年度納入相關國外文獻回顧。	同意。
2.報告書 3-28 頁台 17 線路面積水案例：感謝團隊提供替代道路案例。補充說明該案例位於屏東林邊，長年抽取地下水導致地層下陷，30 年累積沉陷量達 3.2 公尺，已有許多土地低於海平面。本案例是因當地地勢低致內水無法，抑或是氣候變遷引起之強降雨所致，可再補充說明。	該案例旨在說明調適措施，由於個案資訊有限，尚須多方深入了解個案資訊方能研判確切淹水成因。	同意。
3.承上，與臺灣同樣常面臨水患威脅的荷蘭，為解決洪水問題，荷蘭發展出「還地於河」的觀念。如同公路以往是以運輸為主，面對社會變遷發展，與時俱進發展出「人本交通」概念。面對氣候變遷議題，建議團隊可從源頭出發，在設計理念上提出前瞻性思維。	感謝委員提點，將於下年度結合國內外前瞻性思維，納入「還地於河」的理念。	同意。
4.報告書 5-42 頁：感謝團隊提供水利署逕流分擔與出流管制措施。在「行政院所屬各機關中長程個案計畫編審要點」中有規定中長程個案計畫應強化因應氣候變遷之調適能力。在規劃新路線時，可行性評估及綜合規劃時將出流管制措施相關費用納入預算。	敬悉。	同意。
<b>本所綜合技術組</b>		
1.簡報 35 頁中六大步驟基本上是彈性靈活的，編列預算擺第一步是考量業務單位，即公路總局、高公局、桃機公司之同仁是否有能力自行盤點並做出氣候資料，	敬悉。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
<p>若有需要初期經費委託相關單位進行盤點作業，即需編列預算。而如果本身有能力自行可以盤點則可能不需這部分的經費。另外，政府預算是兩年前或一年半前就須編列。</p>		
<p>2. 針對報告書之書面審查意見如下：</p> <p>(1) P 參-1 頁第 1 項參考文獻所列路徑係導向行政院環境保護署的官方網站，而非溫室氣體減量及管理法專區，建議併本研究報告其它連結路徑同步檢查確認並修正路徑。</p> <p>(2) 有關 3.5 節，3-48 到 3-51 頁所示表 3.5-1 運輸系統氣候變遷調適策略與措施綜理表所述「效益時間點」，與 3-47 頁所述說明不符，且列舉助益不大，爰建議刪除。</p> <p>(3) 環保署迄今仍未請各單位研提「我國氣候變遷調適行動方案(112-116 年)」之行動計畫，宜於 4-19 頁補充一點建議相關強化方向建議需配合環保署通案性規劃要求。</p> <p>(4) 報告書內之快速道路請通盤檢視調整為快速公路。</p> <p>(5) 建議研究團隊於報告書中應強化說明本計畫對公路系統規劃階段強化調適能力研究係將全生命週期納入考量，且應用範疇包含新建工程及改建工程，除了新建工程外，既有系統之改建亦可參考應用。</p> <p>(6) 有關 5.2 節，5-6 頁的圖 5.2.1 與 5-10 頁的圖 5.2.4，為強化調適能力增加之「綜合分析評估」應為程序(長方形圖示)而非判別式(菱形圖示)，請確認及修正。</p> <p>(7) 有關 5.4 節(5-38 到 5-44 頁)，建議強化說明強降雨對公路</p>	<p>遵照辦理，詳見第三章、第四章、第五章及參考文獻。</p>	<p>同意。</p>

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形	本所審查意見
系統交界處之衝擊與協調機制，讓相關機關較易參考應用。		
<b>主席結論</b>		
1.感謝所有審查委員與相關單位於本計畫執行過程中的積極參與和給予許多協助，及審查委員今日提供之指導意見，同時感謝鼎漢國際工程顧問股份有限公司合作研究團隊充分配主辦單位的要求，以完成整個計畫的預定工作。	敬悉。	同意。
2.請研究團隊於報告書中強化說明：此計畫雖以規劃階段為題，但已考慮全生命週期的概念，因此研究成果可應用於新建及改建計畫。	遵照辦理，已補充於 1.3 節	同意。
3.請研究團隊期明年度提出的公路系統調適能力指引，針對如何強化調適能力提供具體的步驟說明，讓公路設施主管機關有所依循。未來公路系統設施權責機關可以該指引為依據，檢討與調整規劃設計之相關法規或規範，以強化公路系統整體調適能力。	遵照辦理。	同意。
4.審查會議各委員及與會單位研提之口頭及書面意見，請鼎漢國際工程顧問股份有限公司整理「審查意見處理情形表」，且逐項說明回應辦理情形，並充分納入報告之修正。	遵照辦理。	同意。

## 附錄 4

### 計畫簡報



# 附錄 4 計畫簡報



	<b>01 前言</b>
	<b>02 文獻回顧</b>
	<b>03 運輸系統調適策略檢討</b>
	<b>04 調適行動計畫強化方向建議</b>
	<b>05 公路系統規劃階段強化調適能力 機制與方法探討</b>
	<b>06 結論與建議</b>

**OUTLINE 大綱**



# 01



## 前言

1.1 計畫背景與目的

1.2 計畫範圍與對象

1.3 工作項目與流程

The Greenhouse Gas Reduction and Management Act announced in 2015 requires the central industry competent authorities to develop climate change adaptation strategies, and regularly submit adaptation results to the central competent authority annually.

3

## 1.1 計畫背景與目的(1/2)

### ● 運輸系統將持續面臨氣候變遷衝擊

#### 公路



地下道淹水



坡地崩塌



橋梁斷裂

#### 鐵路



軌道挫屈



軌道淹水



軌道坡災

#### 空運



機場聯外道路淹水



空橋受損



跑道圍籬受損

#### 海運



船舶斷纜與設施損壞



碼頭聯外道路淹水



碼頭暴潮

- 極端天氣事件發生的**頻率改變**
- 極端天氣事件發生的**時間拉長、縮短或驟變**
- 極端天氣事件發生的**強度增強、變化加速**

依據IPCC AR6 第一工作小組報告以及臺灣氣候變遷科學團隊最新發表(2021.8.9-10)的科學研究報告顯示--

運輸系統將**面臨更複雜且嚴峻的氣候風險**

4

## 1.1 計畫背景與目的(2/2)

### 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
- 為強化運輸系統調適能力，運研所於106-107年依《溫管法》研議調適策略，並逐年滾動檢討
- 環保署依《溫管法》提報《國家氣候變遷調適行動方案(107-111年)》，各部會刻正執行所屬之調適行動計畫
- 公路系統與民生經濟息息相關，目前因應氣候變遷及極端氣候之調適能力仍有不足之虞，於規劃階段納入考量調適效果最佳

### 計畫目的



探討公路系統  
規劃階段強化調適  
能力機制與方法



滾動檢討運輸  
系統調適策略



研提強化運輸  
系統調適行動  
計畫方向建議



辦理調適知識  
教育訓練

5

## 1.2 計畫範圍與對象

### 調適策略/行動計畫 研究範圍

- 運輸系統
  - 國道/省道/快速公路
  - 臺鐵/高鐵
  - 機場
  - 商港
  - 跨系統交界處

### 研究成果服務對象

- 高公局/公路總局
- 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

### 公路系統調適能力 研究範圍

- 公路系統
  - 國道/省道/快速公路
- 規劃階段
  - 可行性研究
  - 綜合規劃

### 研究成果服務對象

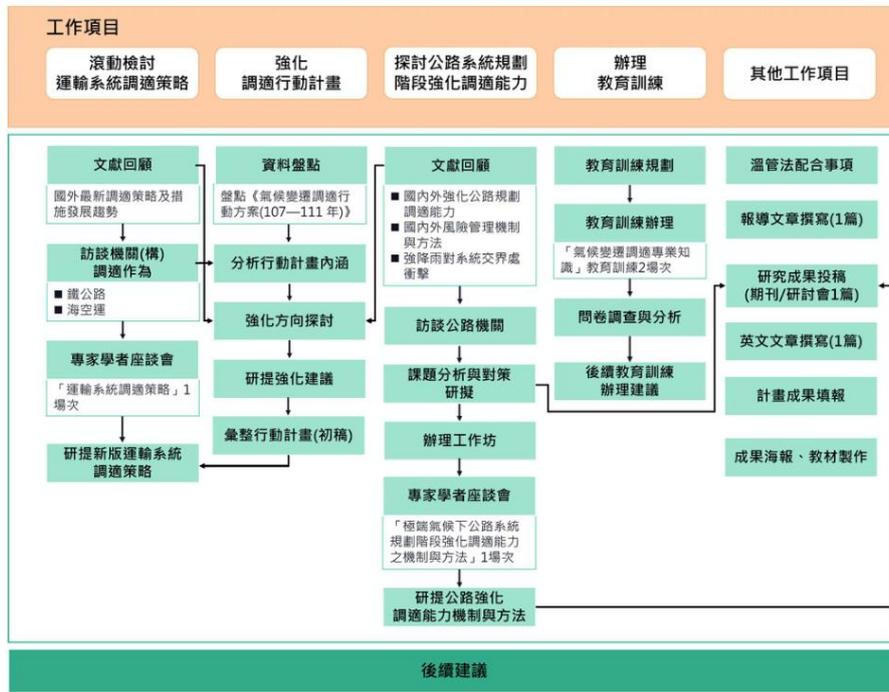
- 高公局/公路總局

### 應用範圍

- 強化公路系統調適能力

6

## 1.3 工作項目與流程



7

# 02



## 文獻回顧

- 2.1 國際調適標準
- 2.2 國際調適新趨勢
- 2.3 國外公路系統規劃階段強化調適能力之作法
- 2.4 文獻回顧啟示

The Greenhouse Gas Reduction and Management Act announced in 2015 requires the central industry competent authorities to develop climate change adaptation strategies, and regularly submit adaptation results to the central competent authority annually.

8

## 2.1 國際調適標準(1/2)

### ●國際標準化組織

- 2019年發布全球第一項針對氣候變遷調適的標準：《ISO 14090 氣候變遷調適 - 原則、規定與指導》
- 2021年發布《ISO 14091 氣候變遷調適 - 脆弱度、衝擊與風險評估指引》 (Adaptation to Climate Change - Guidelines on Vulnerability, Impacts and Risk Assessment )



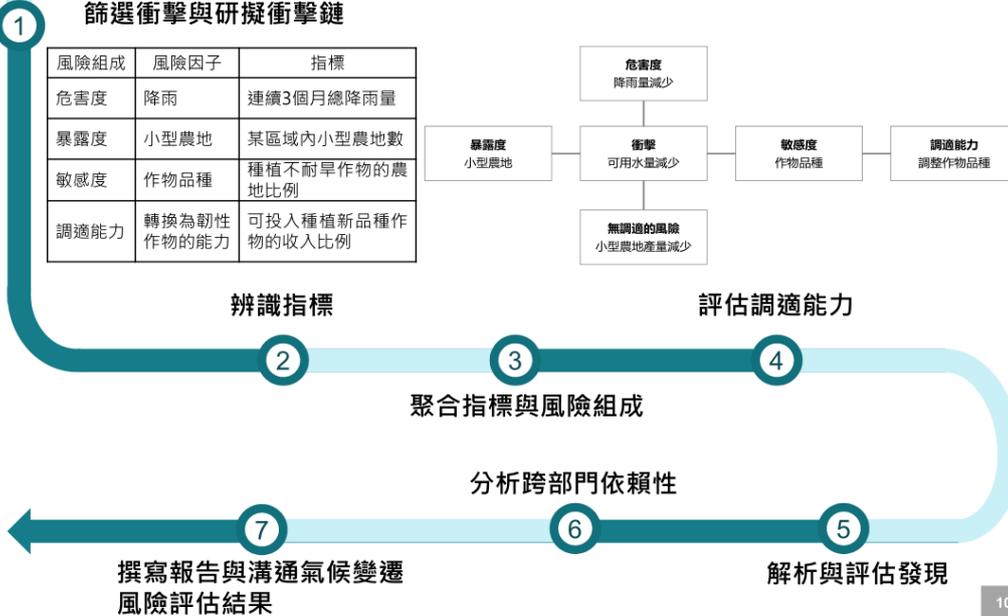
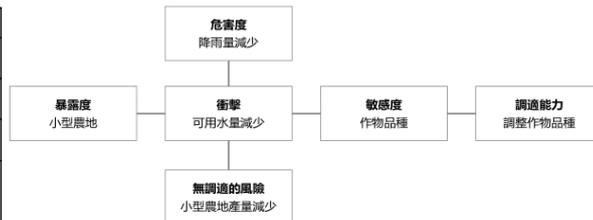
9

## 2.1 國際調適標準(2/2)

### ●ISO14091 執行氣候變遷風險評估

#### 篩選衝擊與研擬衝擊鏈

風險組成	風險因子	指標
危害度	降雨	連續3個月總降雨量
暴露度	小型農地	某區域內小型農地數
敏感度	作物品種	種植不耐旱作物的農地比例
調適能力	轉換為韌性作物的能力	可投入種植新品種作物的收入比例



10

## 2.2 國際調適新趨勢(1/3)

### ● 區域調適策略

#### 歐盟氣候變遷調適策略(2021)

- 歐盟執委會公布新一期氣候變遷調適策略(Forging a Climate-resilient Europe - the New EU Strategy on Adaptation to Climate Change) · 針對現有調適行動提出政策革新方向



發展願景

2050年蛻變為具備氣候韌性的社會

政策革新方向

- **更智慧化的調適**：加強知識基礎
- **更系統化的調適**：協助各公私部門制定調適政策
- **更迅速化的調適**：全面加速調適行動之開展



- 強化調適知識與數據平台 · 促進各成員國**知識共享** · 縮減氣候變遷知識缺口
- 研擬記錄與蒐集氣候相關風險與損害數據之準則及規範 · 並促進**數據共享**



- 技術支援**地方政府**制定地方層級調適策略
- 開發氣候風險對**公共財政**影響之評估方法與工具
- 訂立氣候韌性評估框架與指標
- 提倡「以自然為本」的調適策略



- 開發更多**氣候服務輔助工具** · 協助決策者及相關從業者加速推行調適行動
- **投資基礎設施以具備氣候韌性為原則** · 並制定基礎設施氣候防護指南、安全及性能管理標準
- 確立保險作為氣候風險移轉機制之核心

11

## 2.2 國際調適新趨勢(2/3)

### ● 運輸部門調適計畫

#### 愛爾蘭運輸部門氣候變遷調適計畫(2019)

- 交通部於2019年依據2015年發布的《氣候行動與低碳開發法案》研擬的國家調適架構規範 · 公布《運輸部門調適計畫(2019-2024)》



調適目標

保全運輸設施不受氣候變遷衝擊以持續支援經濟、社會與環境

- 增加氣候變遷對運輸系統衝擊的理解 · **縮小認知差異**
- **輔助利害關係人**辨識與決定既有與規劃中的資產的氣候變遷風險因應順序 · **研擬對應調適作為**
- **規劃中的運輸設施**需在投資計畫中研擬氣候韌性作為與長期調適需求

調適作為

#### 軟性調適

- 調整作法、規定或管理系統

#### 綠色調適

- 利用生態特性提升人類與自然系統的韌性

#### 灰色調適

- 技術/工程的因應作為

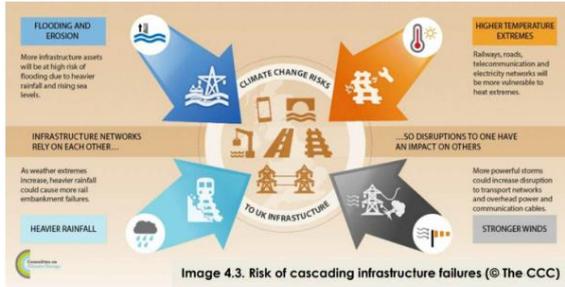
12

## 2.2 國際調適新趨勢(3/3)

### ●運輸基礎設施調適

#### 蘇格蘭氣候變遷計畫(2019)

■ 本期調適計畫(2019-2024) · 針對運輸基礎設施於氣候變遷環境下面臨之衝擊研擬調適策略



2070年夏季與冬季的變化			
	夏季降雨變化	冬季降雨變化	
低碳排情境	11%較乾燥	8%較潮溼	
高碳排情境	14%較乾燥	18%較潮溼	
	夏季氣溫變化	冬季氣溫變化	
低碳排情境	氣溫高1.4度	氣溫高1度	
高碳排情境	氣溫高2.6度	氣溫高2.2度	



- 土石流研究計畫辨識高風險坡災點，進入改善計畫，定期更新掌握風險
- 持續監測與蒐集公路淹水資訊，辨識易淹水路段與造成之影響，研擬工程改善方案
- 橋樑沖刷導入管理機制，以巡檢、監測、檢測與紀錄沖刷，做為決策改善的基礎資料



透過蘇格蘭《第六控制期目標水平設定》提高鐵路系統的永續與韌性，不同階段與設施導入韌性作為，並持續監控在氣候變遷衝擊下的表現



依《第2期國家運輸策略》針對強降雨、強風發生頻率增加與溫升研擬對應的調適行動方案

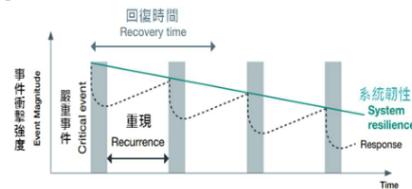
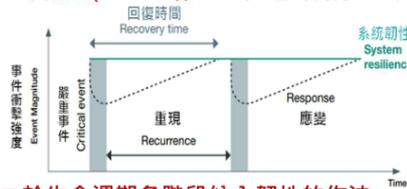
13

## 2.3 國外公路系統規劃階段強化調適能力之作法(1/5)

### ●英國運輸研究實驗室(TRL) - 《公路韌性提升手冊》(2019)

■ 韌性為可承受、調適與回復的能力，具韌性的運輸系統在受衝擊時維持基本運輸能力

- 備援力(redundancy)：替代道路或是備用的運輸容量
- 可靠性(reliability)：可在多種狀況下營運
- 耐受力(resistance)：物理的耐受力
- 回復力(recovery)：受到影響時的應變與回復能力



■ 於生命週期各階段納入韌性的作法

#### 評估與構想階段

- 根據政策需求及如何最佳達成此需求評估
- 如設施的韌性可在此階段即被納入考量將可達到最大效果

#### 設計與建設階段

- 評估方案經濟、社會與環境影響
- 公聽會與利害關係人溝通
- 使用更強韌的材料與設計標準
- 設施受損可更簡易被修復/更新
- 確保韌性設計與機制不受施工期限壓力與預算影響

#### 營運與維護階段

- 設定設施維護的優先順序
- 改善面對天氣事件的應變作為

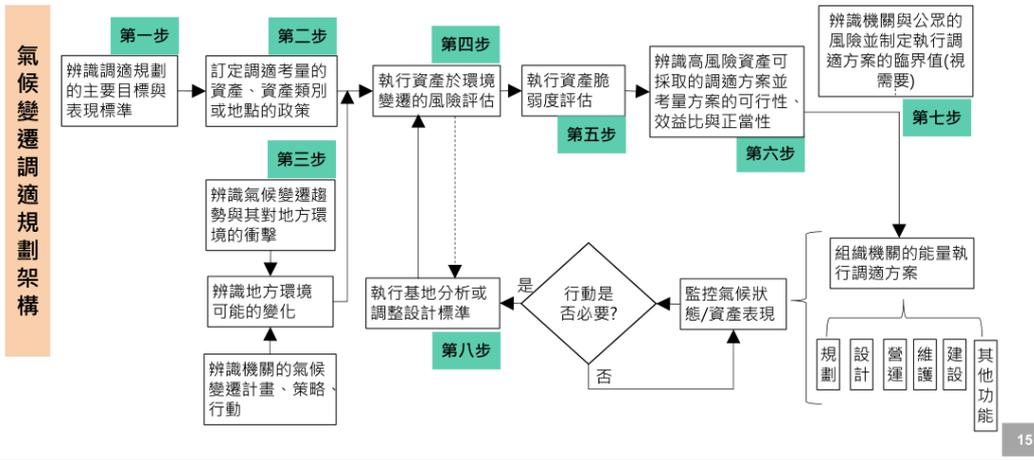
14

## 2.3 國外公路系統規劃階段強化調適能力之作法(2/5)

### ● 美國國家協作公路研究計畫 - 氣候變遷、極端氣候與公路系統：實務手冊(2014)

美國國家協作公路研究計畫(NCHRP)提出如何將調適與公路建設計畫規劃流程結合之具體作法，內容包含氣候變遷對公路的衝擊、調適規劃架構、風險評估、工程設計等

- 調適規劃架構分為8個步驟，應先掌握公路系統與資產在氣候變遷下的狀態與受到之衝擊，做為調適方案與後續工程設計研擬的基礎



## 2.3 國外公路系統規劃階段強化調適能力之作法(3/5)

### 將調適程序納入公路建設計畫之規劃流程

- 因應氣候變遷所做的長期建設計畫、工程標準調整或營運作為，需較嚴謹地評估氣候變遷壓力源與影響
- 公路系統調適工程評估的程度會因法規、可蒐集到的數據與資訊而有差異
- 美國所預測氣候因子包含溫升、降雨量增加、颶風強度增加、海平面上升等
- 調適工程評估流程包含6大步驟

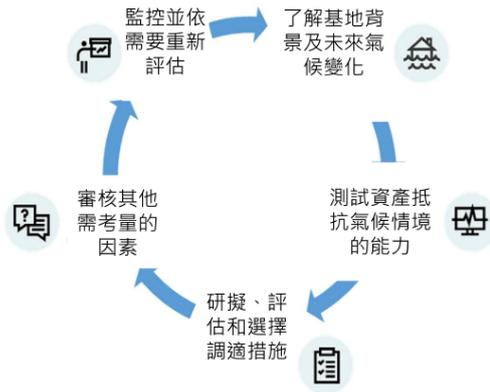


## 2.3 國外公路系統規劃階段強化調適能力之作法(4/5)

### ● 聯邦公路總署(FHWA) - 以綜合方法提升專案開發中的氣候韌性(2017)

綜理FHWA近期研究成果以及美國各州調適先導型計畫的經驗，提出運輸計畫氣候風險評估以及專案導入氣候韌性的方法，協助運輸機構因應氣候變遷及氣候極端事件

#### ■ 調適研究應包括5項基本要素



#### ■ 調適措施(方案)的5種基本類型

- **管理及維護**：維護現有基礎架構以實現最佳性能，並進一步準備管理極端事件的影響
- **增加備援**：確保基礎設施提供的運輸服務可由其他替代方案提供
- **保護**：提供保護性物理屏障來減少或消除損害
- **調整**：修改或重新設計基礎架構，以在氣候變遷壓力的環境中有更好的表現
- **搬遷**：將基礎設施搬離氣候壓力來源，減少或消除暴露在氣候壓力風險

17

## 2.3 國外公路系統規劃階段強化調適能力之作法(5/5)

### ● 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(2020)

- 針對公路系統調適提出最新的實務指導原則
- 該指導手冊提出公路交通建設面對氣候變遷的韌性設計主要操作流程
- 附件提供實用的操作工具及案例說明



18

## 2.4 文獻回顧啟示

### 國際調適標準

- ISO 14091訂定氣候變遷風險評估的流程與作業方法可為各設施管理機關執行風險評估之參考

### 先進國家調適策略及措施

- 新建計畫需在投資計畫中納入因應極端氣候的韌性作為調適需求
- 應就重大衝擊之氣候風險，擬訂調適措施，再由效益、財務及技術可行性等面向，分析執行措施之優先次序

### 國外公路系統規劃階段強化調適能力之機制與方法

- 新建計畫需有氣候風險評估、預留空間做緩衝區，並引進預警系統
- 強化公路系統調適能力的措施多元，包括增強營運和養護能力、運用新材料或工法、改變地點、降低臨界值事件發生機率、精進監測等

19

# 03



## 調適策略滾動檢討

### 3.1 策略滾動檢討流程與重點

### 3.2 調適目標與策略架構

Since 2006, MIT self-driving bus team has been established through the cooperation of domestic enterprises, government officials and schools

20

### 3.1 策略滾動檢討流程與重點(1/2)

#### ●策略滾動檢討流程

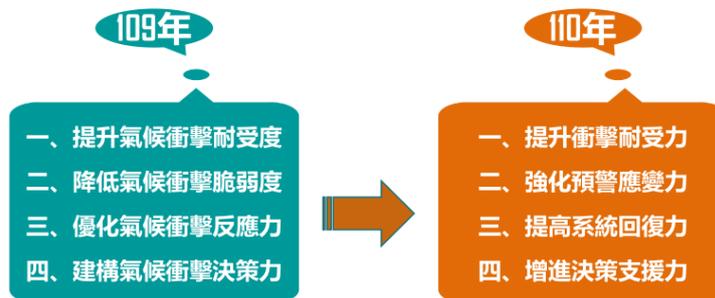


21

### 3.1 策略滾動檢討流程與重點(2/2)

#### ●再檢討調適策略架構的周延性及實用性

- 依據**氣候事件前中後**的調適需求，再檢視四大策略周延性
- 參考管理機關(構)之組織分工，重新檢視調適策略與事權的對應性
- 考量調適策略之指導位階，**重新調整用詞**以利溝通建議



#### ●補強各項調適措施之內容說明

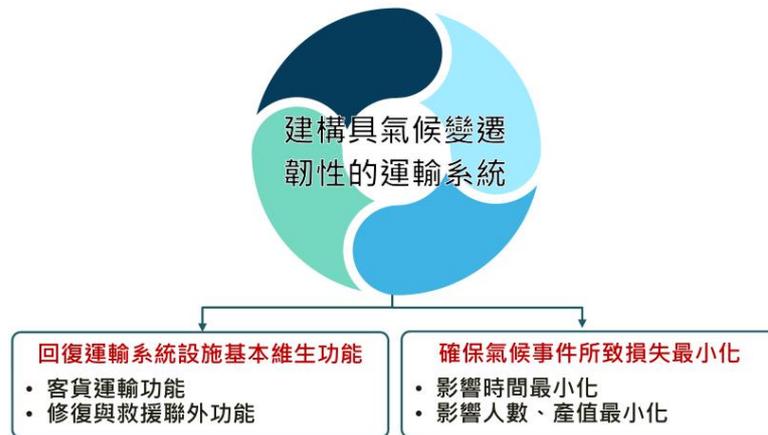
- 納入本期**文獻回顧**相關發現，如新調適作為或執行方法
- 加強實務執行說明並**補充案例**

22

### 3.2 調適目標與策略架構(1/4)

#### ●調適策略目標

- 《行動綱領》目標:「健全我國面對氣候變遷之調適能力,以降低脆弱度並強化韌性」
- 依循上位計畫之指導,調適目標設定為「**建構具氣候變遷韌性的運輸系統**」

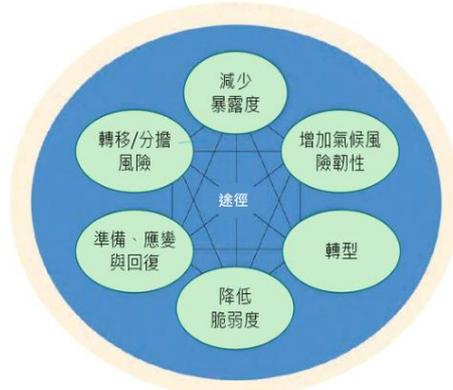


23

### 3.2 調適目標與策略架構(2/4)

#### ●IPCC氣候變遷下的調適及風險管理方法

- 暴露度與脆弱度決定氣候衝擊程度**,故減少暴露度與降低脆弱度為重要作為
- 增加氣候風險韌性即是**降低系統中斷營運的風險**
- 轉型為**改變組織的價值、思維、規定、預算、技術能力**等,以利調適執行
- 轉移/分擔風險、準備、應變與回復**除系統本身**,亦涉及**跨運輸系統整合**



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

24

### 3.2 調適目標與策略架構(3/4)



### 3.2 調適目標與策略架構(4/4)



# 04



## 運輸系統調適行動計畫強化方向建議

### 4.1 國內調適行動計畫特性

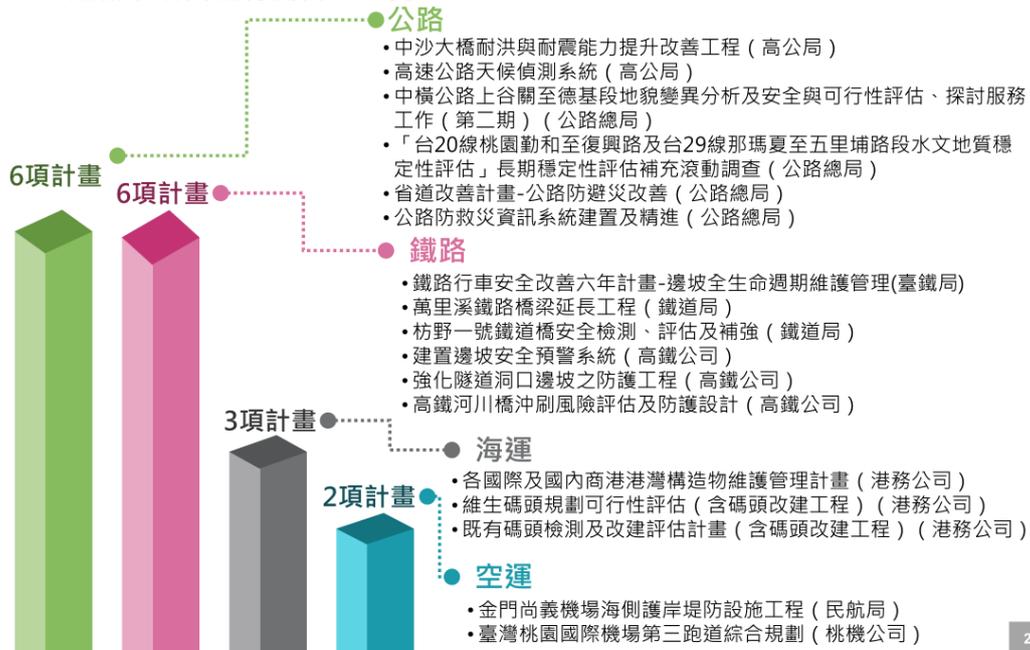
### 4.2 調適行動計畫強化方向建議

The Greenhouse Gas Reduction and Management Act announced in 2015 requires the central industry competent authorities to develop climate change adaptation strategies, and regularly submit adaptation results to the central competent authority annually.

27

## 4.1 國內調適行動計畫特性(1/2)

### ●運輸系統調適行動計畫一覽



28

## 4.1 國內調適行動計畫特性(2/2)

### ●國內運輸系統調適行動計畫特性分析

01

#### 氣候變遷衝擊說明較少

多數調適行動計畫對氣候變遷衝擊之說明著墨較少或較無相關性

02

#### 提及非屬氣候變遷衝擊之事件

少數調適行動計畫提及如地震災害等非屬氣候變遷衝擊之事件

03

#### 未提及與應用氣候變遷資訊

調適行動計畫未提及、參考或應用氣候變遷資訊與未來情境模擬設計調適作為

04

#### 未進行氣候變遷風險評估

欠缺科學性的氣候變遷風險評估

05

#### 非因應氣候變遷衝擊目的之新設計計畫或維護改建計畫

部分調適行動計畫之內容為非因應氣候變遷衝擊目的之新設計計畫、維護改建與管養計畫

29

## 4.2 調適行動計畫強化方向建議(1/4)

理解氣候變遷調適的本質

• 氣候變遷調適計畫需回應「因應氣候變遷的調適作為」(因應氣候變化的作為的變化)

必須進行風險評估

• 需進行風險評估與管理

與常規型計畫有別

• 需與未考慮氣候變遷之原必要進行之計畫有明確的區別

連結國際趨勢和SDGs

• 需與永續發展目標(SDGs)連結

資料來源：葉欣誠，評量氣候變遷調適行動計畫的關鍵要素，第一場教育訓練講義,2021.6.3

30

## 4.2 調適行動計畫強化方向建議(2/4)

### ■ 調適行動六大步驟



31

## 4.2 調適行動計畫強化方向建議(3/4)

### 1. 強化計畫內容完整性

- 調適計畫建議包含目標、理由、基本原理、假設、不確定性的來源、決策的方法、決策依據的資料與數據、與既有政策與策略的關係、優先採取的行動與其效果、時限等內容

### 2. 強化計畫範疇界定

- 界定調適計畫範疇並強化組織與營運系統的氣候變遷韌性

### 3. 加強說明零方案之調適能力

- 說明未執行調適措施前的調適能力基準，以與執行措施後的調適能力變化進行檢視與比較

### 4. 加強說明氣候變遷資訊及情境

- 說明氣候變遷資訊，包含現況與未來的排放情境

### 5. 加強說明氣候變遷衝擊

- 說明氣候變遷對活動、產品與服務的現況與未來衝擊

32

## 4.2 調適行動計畫強化方向建議(4/4)

### 6. 加強組織調適能力探討

- 說明組織現況調適能力，執行調適計畫所需之能力差距
- 說明如何將調適納入組織政策、策略與計畫（調適主流化）

### 7. 加強調適計畫監控、評估與學習概念

- 監控調適行動的執行，並評估投入與產出、資源分配等
- 確保執行的調適行動計畫可達到預期的效果
- 調適計畫效果不彰時調整作法，以達到計畫設定的目標

### 8. 加強利害關係人參與

- 與利害關係人溝通與分享調適計畫執行與成果，以獲得利害關係人的支持與合作

### 9. 加強氣候變遷風險評估

- 參考ISO14091 進行氣候變遷風險評估流程與注意事項，界定風險

### 10. 辦理示範計畫

- 透過辦理示範計畫，建立具確實調適概念的成功參考案例，再逐步擴大辦理

33

# 05



## 公路系統規劃階段強化調適能力機制與方法探討

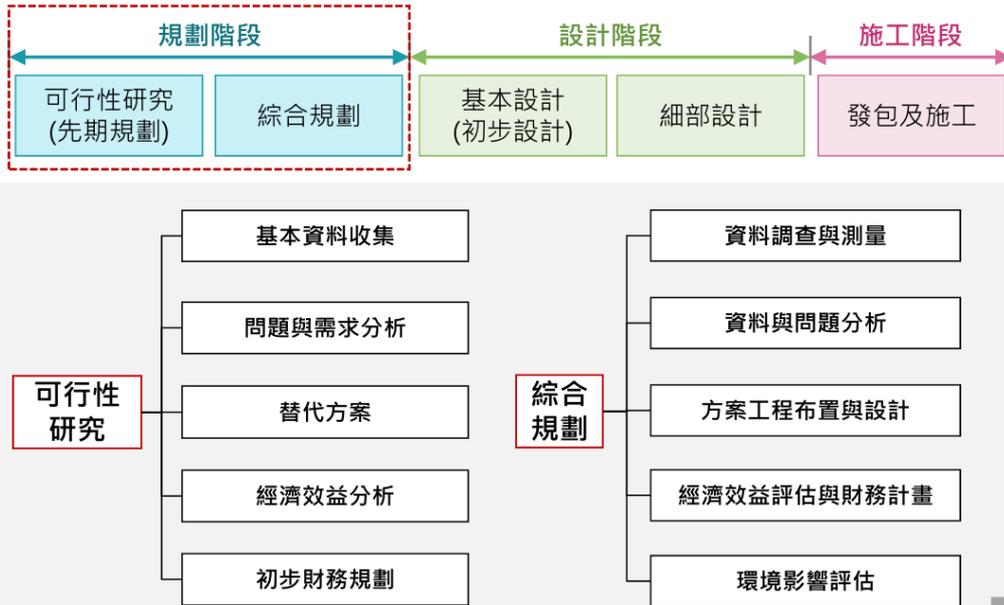
- 5.1 研究範疇界定
- 5.2 強化規劃階段調適之機制
- 5.3 影響公路系統韌性之因素探討
- 5.4 氣候衝擊及調適方法
- 5.5 公路系統交界處衝擊及溝通機制

The Greenhouse Gas Reduction and Management Act announced in 2015 requires the central industry competent authorities to develop climate change adaptation strategies, and regularly submit adaptation results to the central competent authority annually.

34

## 5.1 研究範疇界定

### ● 規劃階段-可行性研究工作項目



35

## 5.2 強化規劃階段調適機制(1/4)

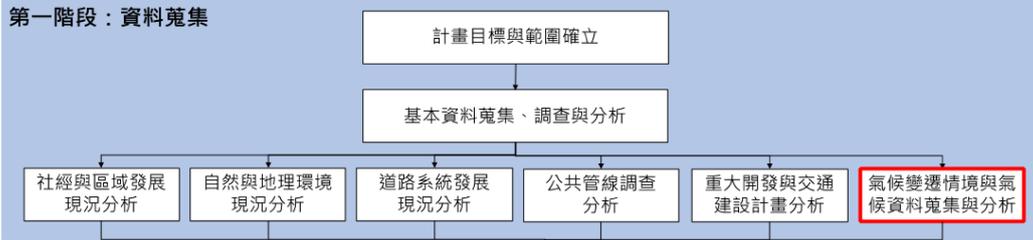
### ● 公路規劃階段流程



36

## 5.2 強化規劃階段調適機制(2/4)

### ●第一階段：資料蒐集



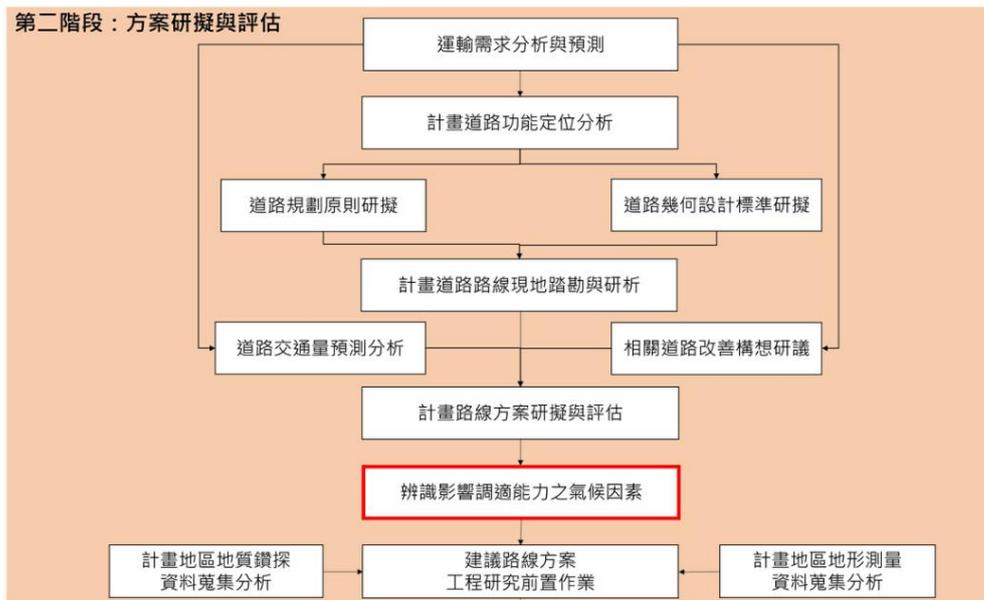
□ 視公路區位特性，蒐集相關氣候變遷情境與資料，可參考水利署與國家災害防救科技中心(NCDR)等單位之資料

項目名稱	工作項目	調適能力提升考量	資料提供單位
氣候變遷情境與氣候資料蒐集與分析	未來氣候變遷情境及預測變化資料	蒐集未來氣候變遷情境下可能的強風、強降雨（降水量及降雨日數）、高溫、暴潮等狀況 臺灣氣候變遷研究目前主要依據IPCC模擬全球大尺度未來的氣候變化，而NCDR會再進行降尺度至台灣範圍進行氣候變遷模擬分析	科技部與NCDR
	未來水文變化	蒐集未來氣候變遷情境下對於水文可能的變化，如水位、流量等	經濟部水利署
	未來工址地質及地形變化	蒐集未來氣候變遷情境下的敏感地質與山崩地滑、岩體滑動潛勢、土石流潛勢等狀況 蒐集未來氣候變遷情境下可能的地形變化（因侵蝕或極端事件）	科技部與NCDR

37

## 5.2 強化規劃階段調適機制(3/4)

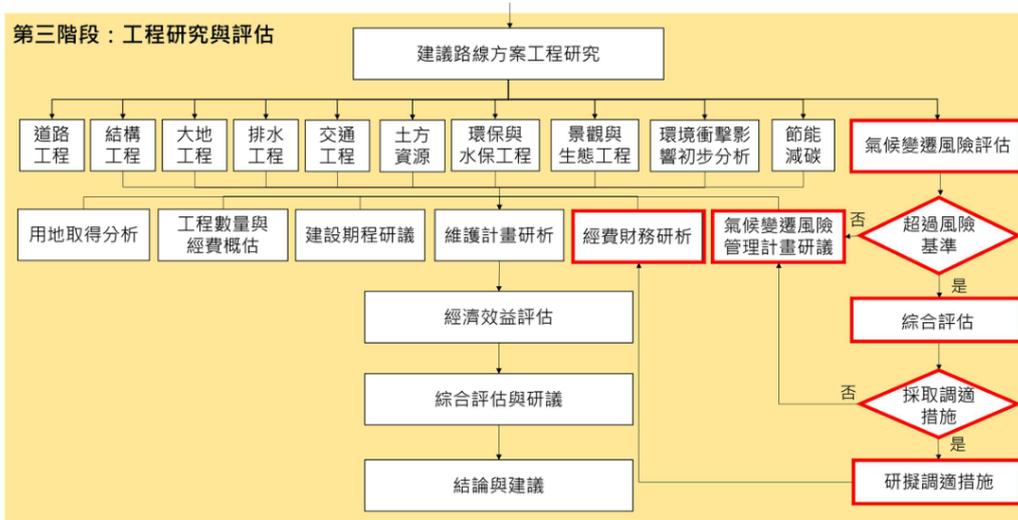
### ●第二階段：方案研擬與評估



38

## 5.2 強化規劃階段調適機制(4/4)

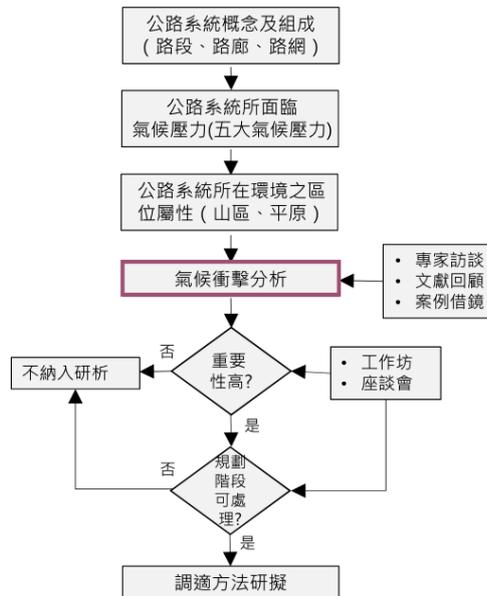
### ● 第三階段：工程研究與評估



39

## 5.3 影響公路系統韌性之因素探討(1/6)

### ● 研析流程

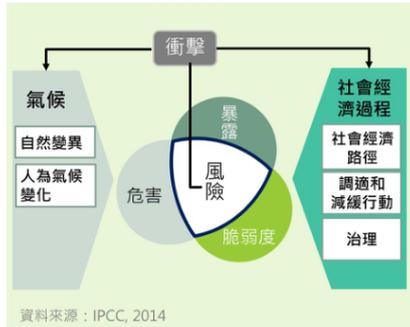


40

### 5.3 影響公路系統韌性之因素探討(2/6)

#### ● 氣候衝擊分析之理論基礎(1)

##### 氣候衝擊風險的定義



$$\text{風險} = f(\text{危害}、\text{脆弱度}、\text{暴露度})$$

$$\text{脆弱度} = f(\text{敏感度}、\text{調適能力})$$

##### 危害度(Hazard)

- 可能發生的自然或人為物理事件或趨勢，或物理影響

##### 暴露度(Exposure)

- 對於人類生命、生計、物種或生態系統、環境服務與資源、基礎建設、經濟、社會與文化資產有可能遭受不利影響的位置與設置

##### 脆弱度(Vulnerability)

- 容易受到負面影響的傾向 (propensity) 與本質 (predisposition)
- 脆弱度涵蓋多種概念，包括敏感性、容易受災特性、以及缺乏應付與適應能力

##### 敏感度(sensitivity)

- 系統或是物種受到氣候變遷或是變異影響之程度，其影響有可能為直接或是間接的影響

##### 調適能力(Adaptive capacity)

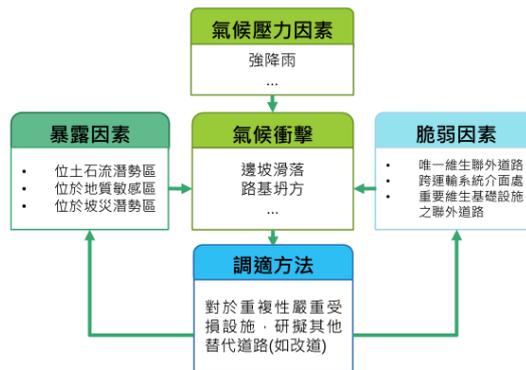
- 個人、組織、區域及社會上所具有調適氣候變遷衝擊所需具備的能力
- 包含減少氣候變遷衝擊的能力、可利用的資源等

1. IPCC, 2014: Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*
2. 同舟共濟-臺灣氣候變遷調適平台，環保署，110.9.16查詢。

### 5.3 影響公路系統韌性之因素探討(3/6)

#### ● 氣候衝擊分析之理論基礎(2)

##### 氣候衝擊分析項目



氣候衝擊鏈分析示例

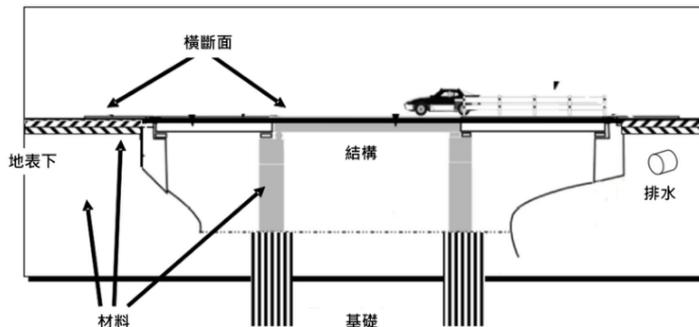
### 5.3 影響公路系統韌性之因素探討(4/6)

#### ●公路系統概念(1)

- 就所在之地理環境區分為**山區公路**、**平原公路**(含沿海地區) 2類
- 就**路段**、**路廊**以及**路網**3種不同的公路系統尺度探討影響韌性之因素

#### 路段

- 基礎/地表下：為**耐受力的重要條件之一**，設計取決於土壤組成、水表、設施重量與載重
- 材料：材料的選取**考量設計的功能與環境狀態**
- 橫斷面：公路**橫斷面**，可能**因不同的設計標準而相互影響**
- 排水：氣候變遷下，**雨量與暴潮發生的頻率與強度改變**，**影響設計難度**
- 結構：主要針對橋梁結構，特別是**跨河橋在面臨氣候變遷下的風暴潮與海浪沖刷加劇**



資料來源:National Cooperative Highway Research Program, Climate Change, Extreme Weather Events and the Highway System: A Practitioner's Guide, 2014.

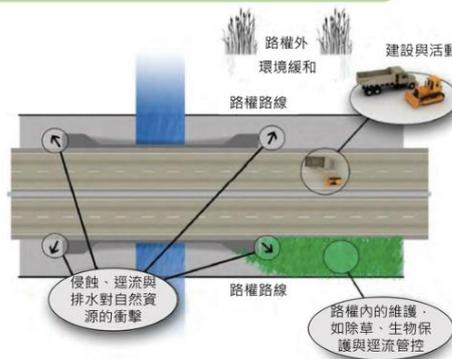
43

### 5.3 影響公路系統韌性之因素探討(5/6)

#### ●公路系統概念(2)

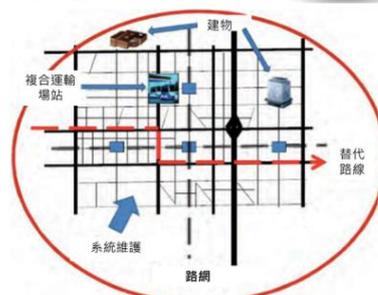
#### 路廊

- 由**路段**與**周邊環境**組成
- 強降雨造成的淹水可能從路段擴及到路廊，也影響周邊環境的水體與生態環境



#### 路網

- 涉及**整體公路系統的管理**，考量重點為
  - 公路彼此之間的**連結性**
  - 跨系統**場站**的連結性
  - 路網彼此之間的**替代性**



資料來源:National Cooperative Highway Research Program, Climate Change, Extreme Weather Events and the Highway System: A Practitioner's Guide, 2014.

44

## 5.3 影響公路系統韌性之因素探討(6/6)

### ●氣候壓力 ( Climate stressor )

#### ■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

依據交通部統計要覽交通天然災害概況歷年統計資料及臺灣氣候變遷科學報告 2017 - 衝擊與調適面向等，彙整影響臺灣公路系統之五大氣候壓力如下：

- 強降雨：颱風強度增強造成強降雨，區域型強降雨亦呈現增加趨勢
- 強風：颱風強度增強，造成強風及沿海巨浪增強
- 暴潮：海平面上升與颱風強度增強，加劇暴潮衝擊
- 高溫：全球暖化持續進行，臺灣平均氣溫百年來增溫約1.3°C。
- 海平面上升：全球平均海平面持續上升，臺灣平均海平面每年上升3.4mm

資料來源: <https://toolkit.climate.gov/content/glossary>

45

## 5.4 氣候衝擊及調適方法(1/8)

### ●氣候衝擊分析項目

- 公路等級：國道、省道、快速道路
- 區位屬性：山區公路、平原公路(包括沿海公路)
- 公路系統尺度：路段、路廊、路網
- 系統組成：依據公路系統尺度而有所不同
- 氣候壓力因素：強降雨、強風、高溫、暴潮、海平面上升
- 暴露因素：系統位於易受衝擊的地區(例如，環境敏感地區)
- 脆弱因素：系統本身容易受衝擊的特性、以及一旦失能可能影響的範圍及程度

### ●案例彙整說明表 ( 範例: 蘇花改 )

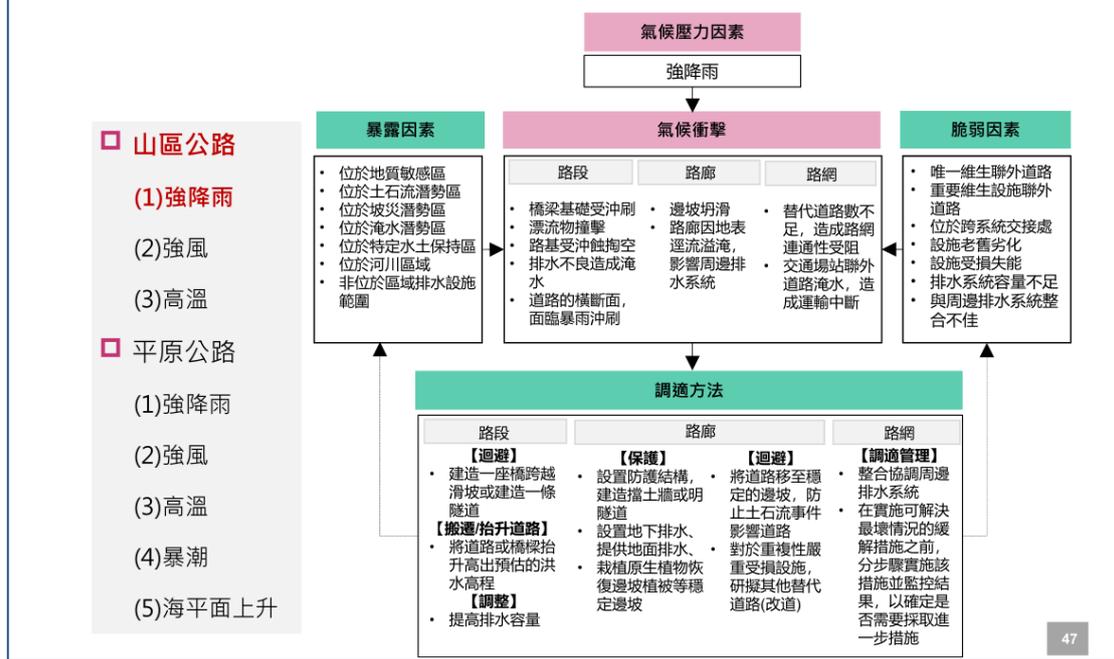
公路系統屬性分類					影響公路韌性系統的因素			氣候衝擊面向	調適方法	
名稱	類型	區位	尺度	系統組成	氣候壓力因素	暴露因素	脆弱因素	直接影響 (基礎設施)	因應措施	強化調適方法
台9線 (蘇澳-大清水)	省道	山區 公路	路廊	路段與周 邊環境	強降雨	位於土石流潛 勢區	唯一聯外道 路	邊坡滑落 路基坍方	對於重複性嚴重 受損設施，研擬 其他替代道路(改 道)	部分無改善路 段仍會有落石 坍方等事件， 再提出道路安 全改善計畫

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

46

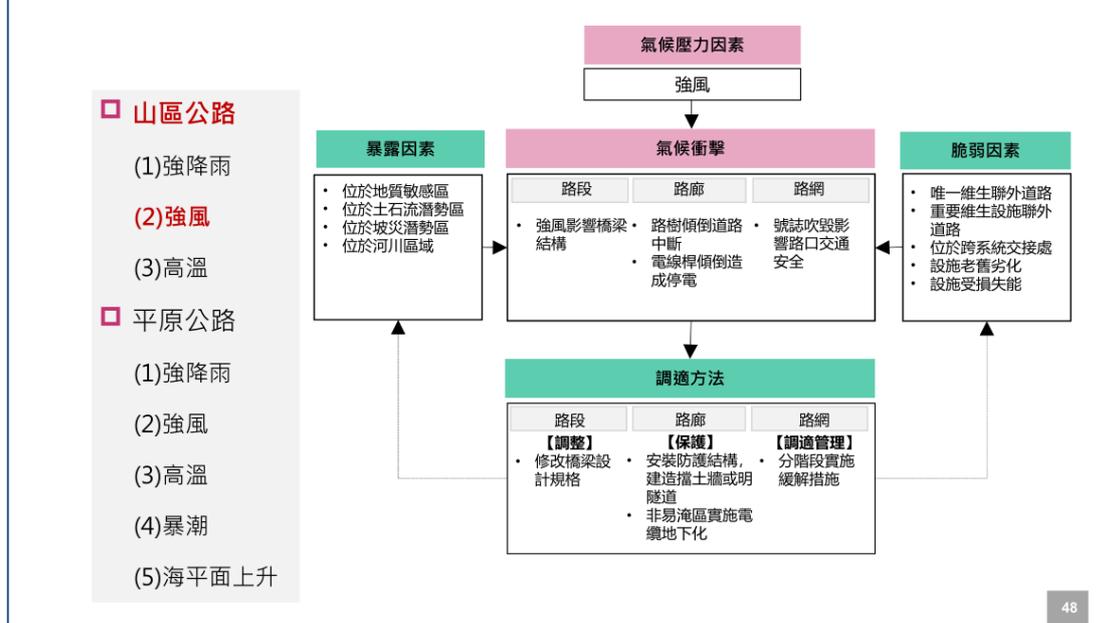
## 5.4 氣候衝擊及調適方法(2/8)

### 公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖-山區公路(強降雨)



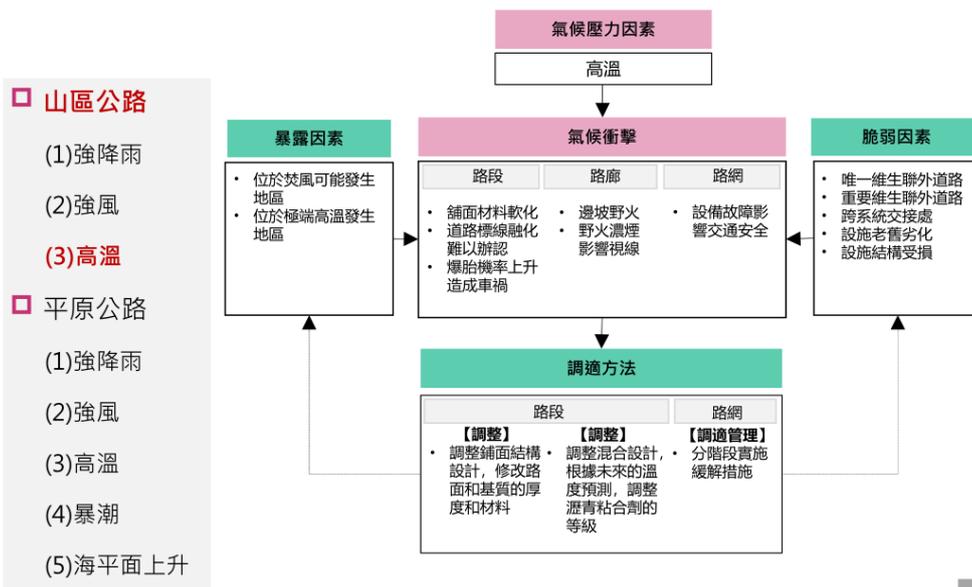
## 5.4 氣候衝擊及調適方法(3/8)

### 公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖-山區公路(強風)



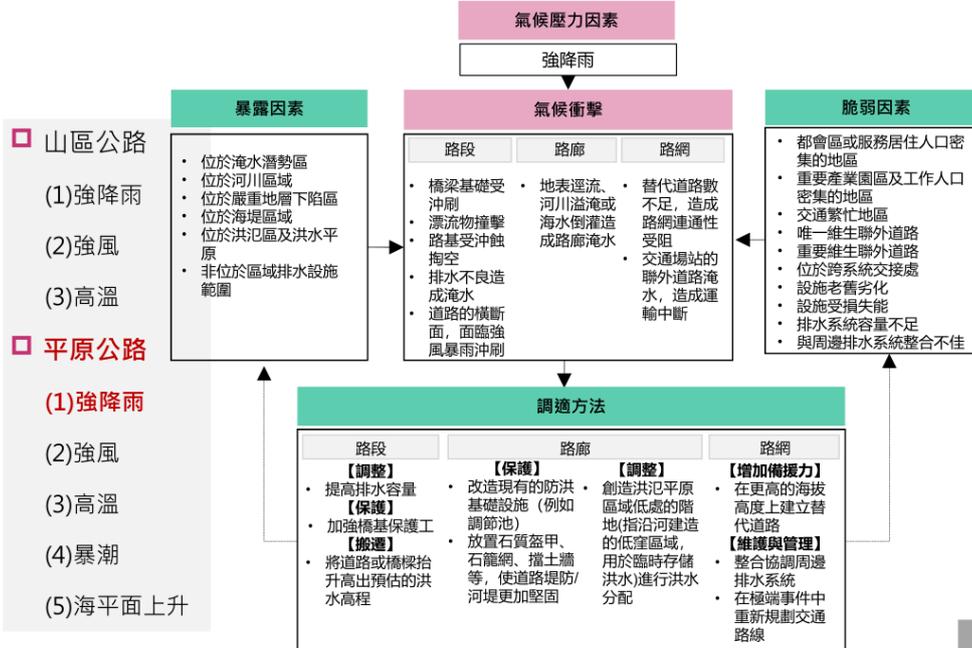
## 5.4 氣候衝擊及調適方法(4/8)

公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖-山區公路(高溫)



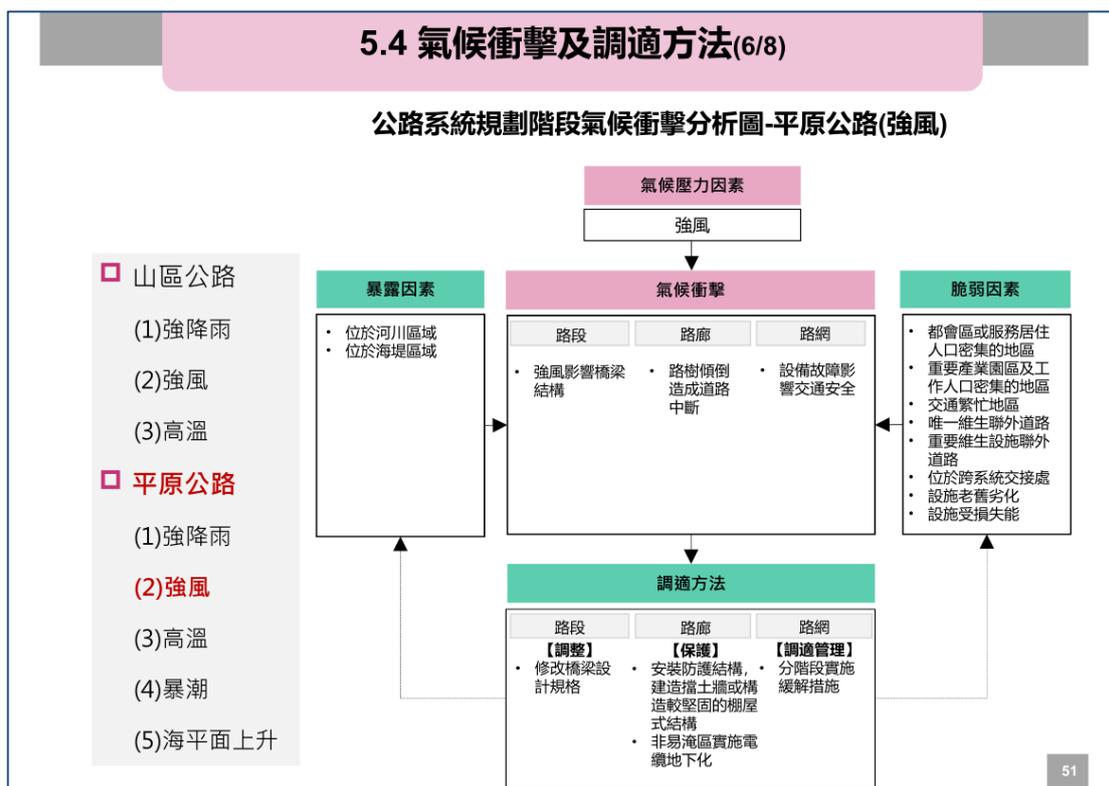
## 5.4 氣候衝擊及調適方法(5/8)

公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖-平原公路(強降雨)



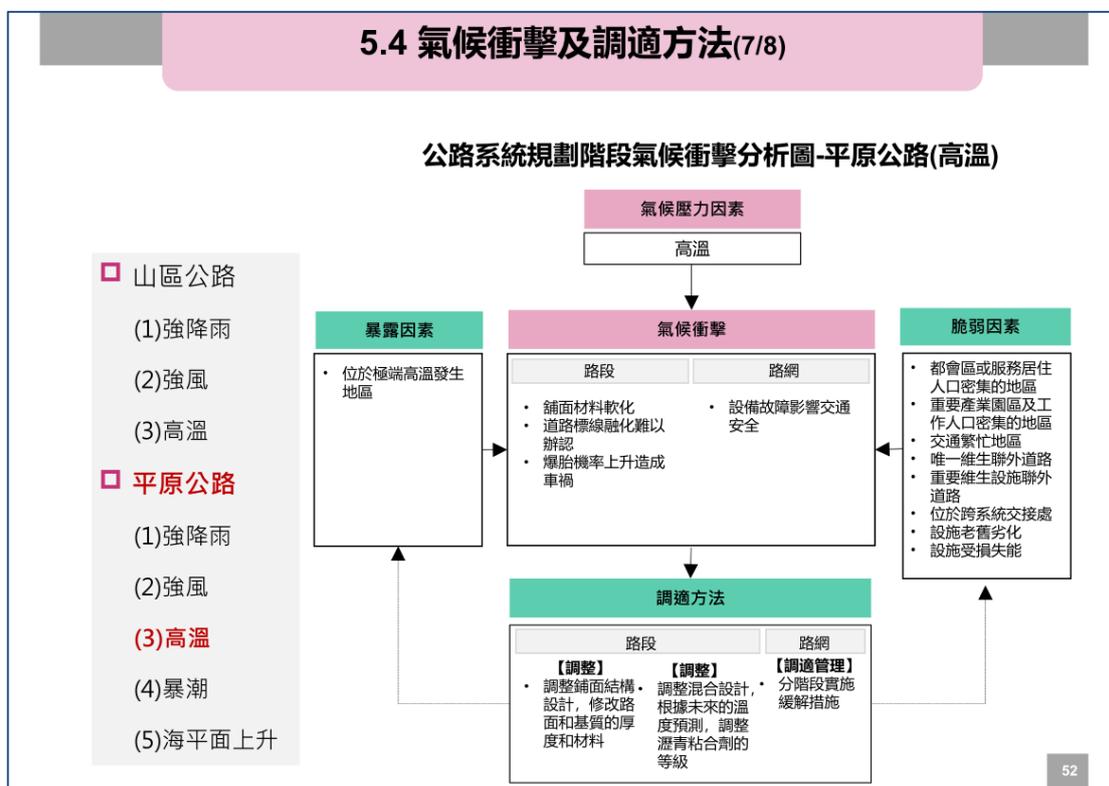
## 5.4 氣候衝擊及調適方法(6/8)

公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖-平原公路(強風)



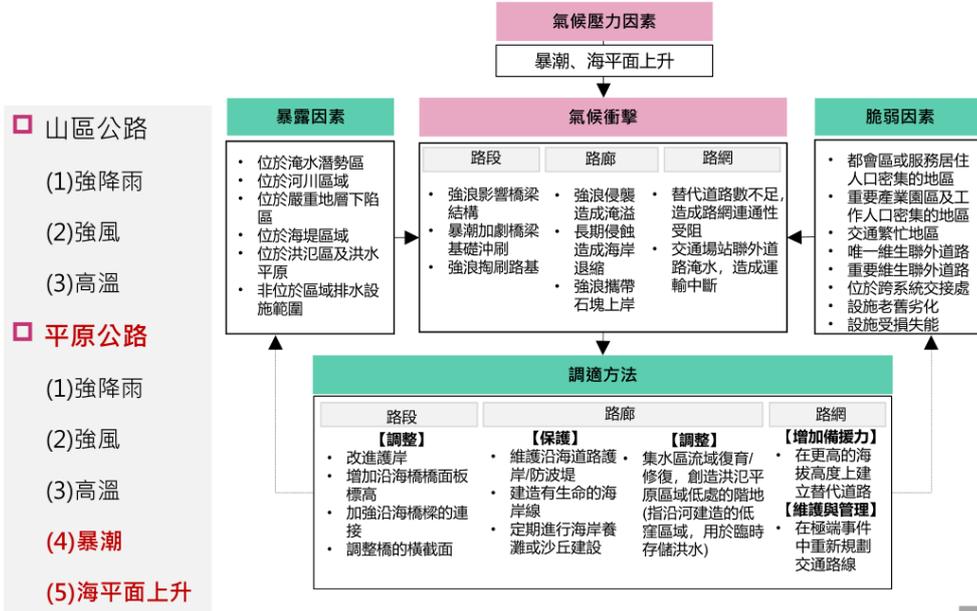
## 5.4 氣候衝擊及調適方法(7/8)

公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖-平原公路(高溫)



## 5.4 氣候衝擊及調適方法(8/8)

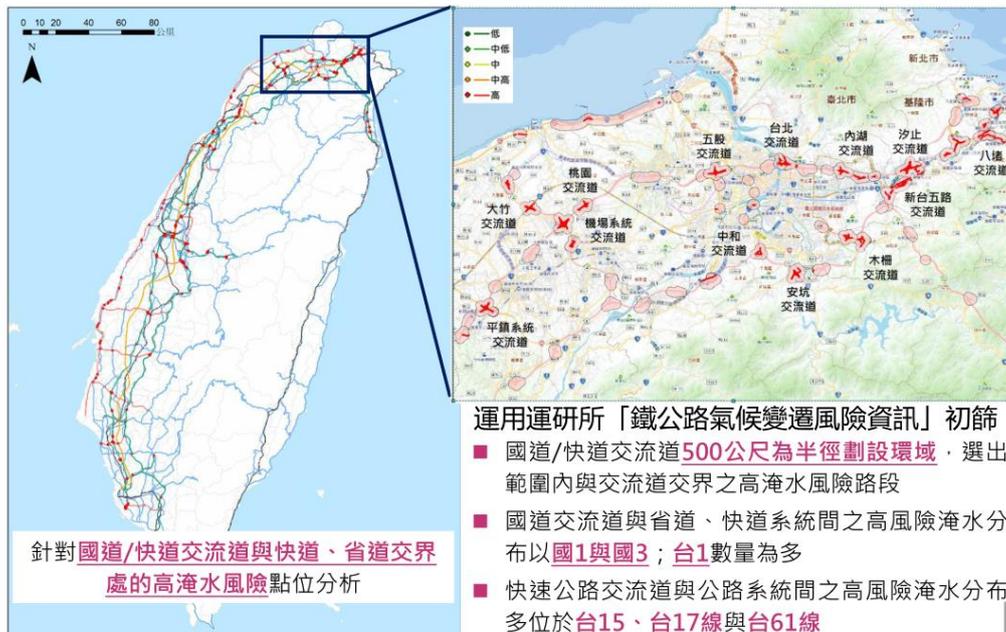
### 公路系統規劃階段氣候衝擊分析圖-平原公路(暴潮、海平面上升)



53

## 5.5 公路系統交界處衝擊及溝通機制(1/4)

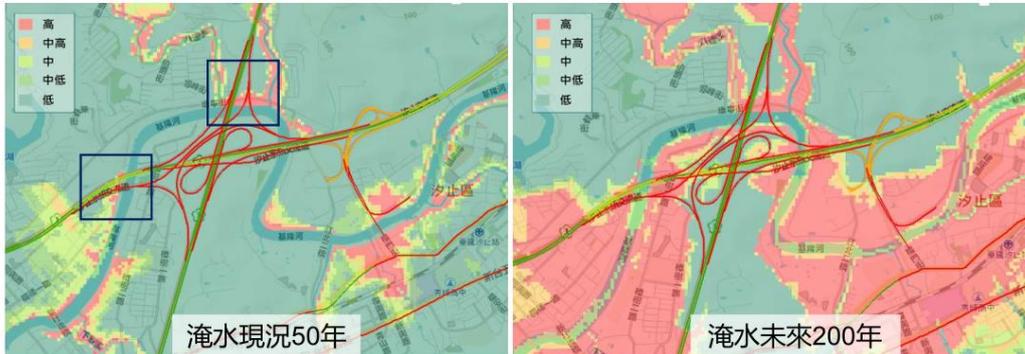
### ● 探討公路系統規劃階段因氣候變遷加劇強降雨對公路系統間交界處之衝擊



54

## 5.5 公路系統交界處衝擊及溝通機制(2/4)

- 以五堵交流道受強降雨衝擊為例



類型	說明	權責機關
內水淹水	強降雨發生時，因地勢平坦、排水系統不良或降雨量超出排水系統設計標準，造成局部之積淹水	高公局、公路總局、營建署、地方政府
外水淹水	河川上游集水區發生豪雨/暴雨時，當洪峰流量超出堤防設計標準，河川水位暴漲而溢堤或潰堤，以致洪水進入堤防保護區內。	高公局、公路總局、水利署、地方政府

55

## 5.5 公路系統交界處衝擊及溝通機制(3/4)

- 因應氣候變遷加劇強降雨對公路系統間交界處之衝擊，提出公路系統規劃階段之溝通及協調機制

水利法 107.6.20 增訂逕流分擔與出流管制專章

- 逕流分擔管理事項 §83-2~ §83-6
- 出流管理事項 § 83-7~ §83-13

目的: 因應氣候變遷造成的極端降雨事件，規劃土地共同分擔降雨逕流，未來可有效提升土地耐淹能力

出流管制規劃書審核[規劃階段由公路主管機關間協調溝通並提送水利署審查]

- 面積達**2公頃以上**之土地開發利用 (共21種土地開發樣態，包含公路鐵路及大眾捷運運輸系統之開發)
- **土地開發義務人**需承擔因開發所增加之逕流量，避免因開發增加附近淹水風險
- 規劃書應載明**減洪方案**，確保土地變更階段留設足夠滯洪空間，僅涉都計或非都分區變更才須提送

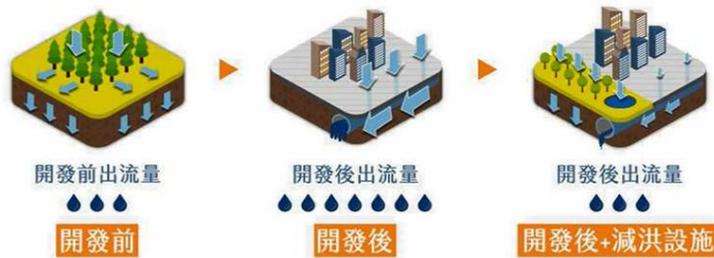


圖片來源：出流管制規劃書審核流程圖，經濟部水利署

56

## 5.5 公路系統交界處衝擊及溝通機制(4/4)

- 因應氣候變遷加劇強降雨對公路系統間交界處之衝擊，提出公路系統**規劃階段**之溝通及協調機制



圖片來源：出流管制概念圖，經濟部水利署

57

# 06



## 結論與建議

6.1 結論

6.2 建議

The Greenhouse Gas Reduction and Management Act announced in 2015 requires the central industry competent authorities to develop climate change adaptation strategies, and regularly submit adaptation results to the central competent authority annually.

58

## 6.1 結論

01

綜合考量國際調適趨勢及因應機關(構)意見，滾動檢討並調整110年新版調適策略，新架構更符合調適目標與需求

02

初步研提公路系統規劃階段強化調適能力機制與方法，將氣候變遷因素納入既有規劃流程，以全生命週期概念強化系統調適能力

03

探討影響公路系統規劃階段強化韌性強度之因素，利用公路系統氣候衝擊鏈方法，分析影響公路系統韌性因素及研擬對應的調適方法

59

## 6.2 建議

氣候變遷  
調適工作  
推動

- 調適預算與資金需於國內部會中長期預算籌編
- 調適思維的推動與主流化
- 運輸系統調適四大策略推動引導
- 建立調適計畫之監控、評估與學習機制
- 加強推動跨部門整合與資訊共享
- 善用數位科技提升調適能力

- 聚焦國內公路系統目前急迫性高且關注度高之氣候變遷議題作深入探討
- 加強說明公路系統氣候衝擊鏈分析方法解析及應用

公路系統  
規劃階段  
強化調適  
能力探討

60



ISBN 978-986-531-394-4



9 789865 313944

GPN : 1011100340

定價 350 元