114-036-6223
MOTC-IOT-112-TFB004

建構運輸管理機關(構)之調適專業能力(1/2)
—課題研析及課程規劃

著者：李曜全、蔡志賢、張齡云、吳承勳、徐慧心
朱珮芸、鄔德傳、蕭為元、楊家銘

交通部運輸研究所

中華民國 114 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

建構運輸管理機關(構)之調適專業能力.(1/2)：課題研析及課程規劃/李曜全, 蔡志賢, 張齡云, 吳承勳, 徐慧心, 朱珮芸, 鄔德傳, 蕭為元, 楊家銘著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民114.04
面 ; 公分
ISBN 978-986-531-671-6(平裝)

1.CST: 運輸管理 2.CST: 運輸系統 3.CST: 氣候變遷

557 114003662

建構運輸管理機關(構)之調適專業能力(1/2)－課題研析及課程規劃

著　　者：李曜全、蔡志賢、張齡云、吳承勳、徐慧心
朱珮芸、鄔德傳、蕭為元、楊家銘
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號
網　　址：www.iot.gov.tw (中文版＞數位典藏＞本所出版品)
電　　話：(02)2349-6789
出版年月：中華民國 114 年 4 月
印 刷 者：全凱數位資訊有限公司
版(刷)次冊數：初版一刷 65 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所網站
定　　價：370 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸科技及資訊組・電話：(02)2349-6789
國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號•電話：(02)2518-0207
五南文化廣場：400002 臺中市中區中山路 6 號•電話：(04)2226-0330

GPN：1011400345　　ISBN：978-986-531-671-6(平裝)
著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）
本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

<table>
<tr><td colspan="4">出版品名稱：建構運輸管理機關（構）之調適專業能力（1/2）-課題研析及課程規劃</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）
ISBN 978-986-531-671-6(平裝)</td><td>政府出版品統一編號
1011400345</td><td>運輸研究所出版品編號
114-036-6223</td><td>計畫編號
112-TFB004</td></tr>
<tr><td>本所主辦單位：運輸能源及環境組
主管：朱珮芸
計畫主持人：朱珮芸
研究人員：鄔德傳、蕭為元、楊家銘
聯絡電話：（02）23496870
傳真號碼：（02）27120223</td><td colspan="2">合作研究：景丰科技股份有限公司
計畫主持人：李曜全
研究人員：蔡志賢、賴曉薇、許家勛
地址：106 臺北市大安區復興南路 2 段 286 號 4 樓
聯絡電話：（02）2377-8011</td><td>研究期間
自 112 年 4 月
至 112 年 12 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：氣候變遷、調適策略、運輸系統、韌性、教育訓練</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：

依氣候變遷因應法，推動氣候變遷調適能力建構為各級政府應盡責任，且各運輸機關（構）人員調適專業能力是推動調適工作的基石，以確保能夠依照我國調適政策推動方向順利執行各項調適準備工作，降低未來極端天氣對運輸系統造成的衝擊。爰此，本所以 2 年期辦理「建構運輸管理機關（構）之調適專業能力」計畫。

本年度（第 1 年期）計畫透過國外調適發展趨勢、氣候變遷因應法、國家氣候變遷調適行動計畫等文獻回顧，並與運輸管理機關（構）訪談，據此滾動檢討運輸系統調適四大策略 15 項措施，以強化運輸系統調適策略及措施內容，並蒐集補充各措施之國內外具體實務應用案例。其次探討運輸管理機關（構）應具備之調適能力後，執行問卷調查和深度訪談，盤點目前運輸管理機關（構）人員的氣候變遷調適認知素養與調適知能缺口，據以規劃氣候變遷調適專業知識課程，規劃內容包含課題、課綱、師資和時數。本年度並對通案性、需求性強及優先性高之運輸調適專業知識辦理 12 小時之教育訓練。</td></tr>
<tr><td>出版日期</td><td>頁數</td><td>定價</td><td>本出版品取得方式</td></tr>
<tr><td>114 年 4 月</td><td>314</td><td>370</td><td>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。</td></tr>
<tr><td colspan="4">備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。</td></tr>
</table>

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS

INSTITUTE OF TRANSPORTATION

MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Capacity Building on Climate Change Adaptation for Transportation Management Agencies (1/2) － Issue Analysis and Training Course Planning			
ISBN（OR ISSN） ISBN 978-986-531-671-6(pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011400345	IOT SERIAL NUMBER 114-036-6223	PROJECT NUMBER 112-TFB004

DIVISION: Transportation Energy and Environment Division
DIVISION DIRECTOR: Pei-Yun Chu
PRINCIPAL INVESTIGATOR： Pei-Yun Chu
PROJECT STAFF: Deh-Juan Wu , Wei-Yuan Hsiao, Chia-Ming Yang
PHONE: 886-2-23496870
FAX: 886-2-27120223

PROJECT PERIOD

FROM April 2023
TO December 2023

RESEARCH AGENCY: THI Consultants lnc.
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yao-Chuan Lee
PROJECT STAFF: Chih-Hsien Tsai, Hsiao-Wei Lai, Chia-Hsun Hsu
ADDRESS: 4F., No. 286, Sec. 2, Fuxing S. Rd., Taipei, Taiwan, R.O.C.
PHONE: 886-2-23778011

KEY WORDS: Climate change, adaptation strategy, transportation system, resilience, training

ABSTRACT:

According to the Climate Change Response Act, capacity building on climate change adaptation is needed at all levels of government. Transportation agency personnel with good adaptation expertise are the cornerstone of advancing adaptation efforts. Well adaptation preparations carried out in accordance with national adaptation policies could effectively mitigate the impacts of extreme weather on the transportation system. The project was the first year of a two-year plan.

The project (the first year) initiated from reviewing literature on international adaptation trends, the Climate Change Response Act, and the National Climate Change Adaptation Action Plan, along with conducting interviews with staff of transportation management agencies. Based on this, the project reviewed the four major adaptation strategies and 15 measures for the transportation system, and also collected domestic and international case studies of the transportation system. Additionally, the project explores the adaptation capabilities required by transportation agencies, performs surveys and in-depth interviews to assess adaptation knowledge and skill gaps. Accordingly, a series of climate adaptation training courses was proposed. The curriculum includes topics, outlines, instructors, and course hours. Twelve hours of training were conducted regarding crucial adaptation knowledge for the transportation system.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE
April 2025	314	370

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

目錄

表目錄 ..... **V**
圖目錄 ..... **VI**
第一章 緒論 **1-1**
1.1 計畫緣起與目的 1-1
1.2 計畫內容與工作項目 1-2
1.2.1 全程（112－113 年）工作項目 1-2
1.2.2 第 1 年期（112 年）工作項目 1-3
1.3 計畫範圍與對象 1-4
1.4 計畫流程 1-4
第二章 文獻回顧 **2-1**
2.1 氣候變遷對運輸系統之衝擊 2-1
2.1.1 氣候因子在氣候變遷下的變化 2-1
2.1.2 對運輸系統造成衝擊的氣候因子 2-3
2.2 國際氣候變遷調適發展趨勢 2-12
2.3 國內外運輸系統調適相關專業課程 2-28
2.4 小結 2-36
第三章 運輸系統調適策略檢討及實務應用案例 **3-1**
3.1 前期調適策略概述 3-1
3.1.1 先進國家運輸系統相關調適策略及措施 3-2
3.1.2 前一期調適策略滾動檢討概述 3-6
3.2 調適策略檢討 3-8
3.3 實務應用案例資料蒐集 3-15
3.4 運輸系統調適策略措施檢討及具體實務應用案例 3-19
3.4.1 策略一：提升衝擊耐受力 3-19
3.4.2 策略二：強化預警應變力 3-40
3.4.3 策略三：提高系統回復力 3-46
3.4.4 策略四：增進決策支援力 3-52
3.5 運輸系統調適策略與措施綜理 3-71
第四章 探討運輸管理機關(構)應具備之調適專業能力 **4-1**
4.1 運輸管理機關(構)調適基礎能力 4-1
4.1.1 氣候變遷基礎科學 4-1
4.1.2 國家政策與法規認識 4-3
4.1.3 氣候風險評估概論 4-7
4.1.4 其他氣候變遷調適基礎知識 4-9
4.2 運輸管理機關(構)調適進階能力 4-15

4.2.1 氣象資料解讀.....4-15
4.2.2 氣候變遷風險評估執行程序.....4-16
4.2.3 各階段工作融入調適措施時機與要點.....4-17
4.2.4 面對高度不確定性之決策方法.....4-18
4.2.5 調適案例分享.....4-18
4.3 運輸系統領域調適專業知能.....4-19
第五章 規劃氣候變遷調適專業知識課程 5-1
5.1 問卷調查.....5-1
5.1.1 問卷設計.....5-2
5.1.2 進行問卷預試.....5-2
5.1.3 預試問卷回饋.....5-3
5.1.4 問卷修訂（正式版本）.....5-5
5.1.5 執行問卷調查.....5-6
5.1.6 問卷結果分析.....5-7
5.2 深度訪談.....5-10
5.2.1 深度訪談設計.....5-10
5.2.2 深度訪談結果.....5-11
5.3 諮詢專家學者意見.....5-15
5.4「運輸系統因應氣候變遷調適」課程需求綜合評估.....5-16
5.4.1 依運輸機關調適知能現況盤點結果.....5-16
5.4.2 依國內外其他調適專業教材與課程現況分析.....5-17
5.5「運輸系統因應氣候變遷調適」課程.....5-19
5.6 辦理運輸調適專業知識教育訓練.....5-34
5.7 小結.....5-41
第六章 結論與建議 6-1
6.1 結論.....6-1
6.2 建議.....6-6
參考文獻.....參-1

附錄 1 計畫摘要

附錄 2 名詞解釋

附錄 3 審查意見辦理情形

附錄 4 氣候變遷調適認知問卷

附錄 5 計畫簡報

表目錄

表 2.1-1 氣候變遷 4 種氣候因子對機場潛在影響 2-5
表 2.1-2 氣候變遷對港埠可能造成的影響 2-9
表 2.1-3 氣候變化對交通基礎設施和運營的影響匯總表 2-10
表 2.2-1 交通貧窮概念性定義 2-26
表 3.1-1 日本公路運輸系統調適措施一覽表 3-4
表 3.1-2 日本鐵路運輸系統調適措施一覽表 3-4
表 3.1-3 日本機場運輸系統調適措施一覽表 3-5
表 3.1-4 日本港口運輸系統調適措施一覽表 3-5
表 3.2-1 運輸系統四大策略 15 項措施列表與國外調適措施比較表 3-9
表 3.3-1 本計畫運輸系統實務應用案例資料庫範例 3-16
表 3.4-1 希斯洛機場氣候變遷風險 3-22
表 3.4-2 臺鐵截彎取直彎道地點 3-27
表 3.4-3 氣候變遷風險及相應自然為本解決方案 3-32
表 3.4-4 2100 年情境下受土石流影響的暴露項目表 3-54
表 3.4-5 調適方案成本 3-55
表 3.4-6 因土石流受損的金額計算 3-55
表 3.5-1 運輸系統氣候變遷調適策略與措施綜理表 3-73
表 4.1-1 氣候變遷調適納入國內外法規及規範案例 4-11
表 4.3-1 機場可能受氣候災害的衝擊 4-25
表 5.1-1 問卷設計原則 5-2
表 5.1-2 預試問卷題型與問題內容修訂重點 5-6
表 5.1-3 問卷調查對象及回覆情形 5-7
表 5.1-4 問卷調查結果彙整表 5-9
表 5.2-1 深度訪談單位 5-11
表 5.3-1 運輸調適課程規劃專家學者諮詢會議之學者名單 5-15
表 5.5-1 本計畫規劃課程與國內外課程對照 5-23
表 5.5-2 整體調適課程規劃表 5-28
表 5.5-3 以公路系統為例的課程地圖 5-32
表 6.1-1 運輸系統氣候變遷調適四大策略及 15 項措施 6-2

圖目錄

圖 1.4.1 工作流程圖.....1-5
圖 2.2.1 法國國家氣候變遷調適計畫行動 3 風險評估框架.....2-18
圖 2.2.2 德國整合氣候變遷衝擊評估系統示意圖.....2-19
圖 2.2.3 倫敦市運輸系統與其他系統相互依賴關係.....2-21
圖 2.2.4 德國整合氣候變遷衝擊評估系統示意圖.....2-25
圖 2.2.5 倫敦市運輸系統與其他系統相互依賴關係.....2-27
圖 2.3.1 公路系統規劃階段調適指引提出之「機制」及「方法」.....2-30
圖 2.3.2 將氣候調適分析整合到傳統的資產生命週期流程.....2-33
圖 2.3.3 航空組織氣候變遷風險評估與調適規劃步驟.....2-34
圖 3.1.1 前期調整前之運輸系統氣候變遷調適目標及四大策略.....3-7
圖 3.1.2 前期調整後之運輸系統氣候變遷調適四大策略及 15 項措施架構圖....3-7
圖 3.2.1 調適策略檢討作業流程.....3-8
圖 3.3.1 運輸系統實務應用案例數量分布.....3-17
圖 3.3.2 運輸系統實務應用案例措施種類及數量.....3-17
圖 3.4.1 鐵公路氣候變遷風險評估流程與方法示意圖.....3-20
圖 3.4.2.希斯洛機場韌性措施目標.....3-23
圖 3.4.3 GIS 選址分析示意圖.....3-24
圖 3.4.4 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.....3-25
圖 3.4.5 臺鐵猴硐至雙溪改線計畫.....3-26
圖 3.4.6 西埃克塞特路線替代方案.....3-28
圖 3.4.7 公共建設計畫辦理程序.....3-29
圖 3.4.8 防洪設施示意圖.....3-33
圖 3.4.9 坡面穩定工法類型.....3-33
圖 3.4.10 地理資訊系統於設施管理之應用.....3-34
圖 3.4.11 鐵公路數位分身示意圖.....3-35
圖 3.4.12 創新路面與傳統路面之日內溫度變化.....3-36
圖 3.4.13 灰色基礎設施與基於自然的解決方案.....3-37
圖 3.4.14 運輸系統介面受天氣事件衝擊示意圖.....3-38
圖 3.4.15 成田機場大廳設置鐵路、高速巴士等交通資訊.....3-39
圖 3.4.16 中央氣象署應用氣象 APP 預警說明圖.....3-41
圖 3.4.17 災害風險管理機制.....3-42
圖 3.4.18 風險監測設備與資訊示意圖.....3-44
圖 3.4.19 臺鐵邊坡自動化落石監測告警系統說明圖.....3-44
圖 3.4.20 台灣高鐵公司告警系統說明圖.....3-45
圖 3.4.21 運輸系統面臨之氣候風險程度.....3-46
圖 3.4.22 衝擊後勘查之科技示意圖.....3-47

圖 3.4.23 災害發生前預先完成復原計畫.....3-48
圖 3.4.24 阿里山公路運用無人機進行巡檢及勘災作業.....3-49
圖 3.4.25 明霸克露橋短期架設便橋搶修.....3-50
圖 3.4.26 鐵公路的跨運輸備援案例.....3-51
圖 3.4.27 調適計畫成本效益評估輔助軟體示意圖.....3-53
圖 3.4.28 不同部門針對氣候變遷風險投入之金額.....3-57
圖 3.4.29 世界道路協會調適框架.....3-58
圖 3.4.30 美國聯邦公路管理局調適框架.....3-59
圖 3.4.31 公共工程全生命週期.....3-59
圖 3.4.32 碼頭維護管理系統功能架構.....3-60
圖 3.4.33 TCCIP 調適知識平台與調適模擬器說明圖 3-63
圖 3.4.34 世界銀行氣候變遷知識入口網站頁面.....3-63
圖 3.4.35 跨部會之運作平台案例說明圖.....3-65
圖 3.4.36 Climate-Adapt 平台首頁 3-66
圖 3.4.37 氣候創新窗口網站.....3-67
圖 3.4.38 挪威西部研究所調適培訓網絡資源.....3-68
圖 3.4.39 利害關係人溝通與氣候變遷寓教於樂.....3-69
圖 4.1.1 氣候變遷因應法第 18 條氣候科研與風險評估示意圖.....4-4
圖 4.1.2 中央目的事業主管機關氣候變遷調適行動方案流程圖.....4-6
圖 4.1.3 國家氣候變遷調適行動方案推動框架.....4-6
圖 4.1.4 自然為本解決方案概念框架.....4-12
圖 4.1.5 氣候相關風險、機會和財務影響.....4-13
圖 5.1.1 問卷調查規劃流程圖.....5-1
圖 5.2.1 深度訪談設計流程圖.....5-11
圖 5.5.1 運輸系統調適課程分類.....5-24
圖 5.6.1 教育訓練第一場次上午課程活動剪影.....5-37
圖 5.6.2 教育訓練第一場次下午課程活動剪影.....5-37
圖 5.6.3 教育訓練第二場次上午課程活動剪影.....5-40
圖 5.6.4 教育訓練第二場次下午課程活動剪影.....5-40

第一章 緒論

1.1 計畫緣起與目的

1. 計畫緣起

氣候變遷加劇是導致全球與環境明顯改變之主因，自 1880 年至 2012 年間，人類活動所導致的地球暖化，造成全球平均地表溫度升高了 0.85˚C，若持續以目前暖化速度持續增加，可能在 2030 年到 2052 年之間地球暖化便會達到 1.5˚C。為了應對氣候變遷所帶來的衝擊，聯合國於 1992 年制定聯合國氣候變遷綱要公約（United Nations Framework Convention on Climate Change，以下簡稱「UNFCCC」），公約第 4 條亦闡明必須為氣候變化帶來的影響，做好調適準備。

UNFCCC 最高權力機關為締約國大會（Conference of the Parties，COP，後簡稱 COP），每年集會一次，定期評審公約及締約方大會所通過法律文件之履行狀況，從初期如 COP3 僅少部分條文提到調適面相，至 2010 年 COP16 建立坎昆調適框架（Cancún Adaptation Framework），2015 年通過的巴黎協定，將歷年調適內容納入條文內彙整。2022 年 11 月 6 日至 18 日在埃及夏姆錫克（Sharm El Sheikh）舉辦 COP27，「氣候正義」為本次會議焦點，設定的四大目標分別為減緩（Mitigation）：促使各國履行承諾，實現巴黎協定目標，將全球升溫控制在 2˚C，並努力維持在 1.5˚C；調適（Adaptation）：熱浪、野火等極端氣候事件加劇，為了減少衝擊，各國必須擬定事前預防、及時因應的調適策略；融資（Finance）：讓非洲、小島國家等發展中國家擁有充足資金，以進行氣候變遷減緩、調適工作；合作（Collaboration）：確保所有利害關係人充分參與，特別是脆弱族群、易受氣候變遷影響的非洲國家，並將 COP26 成果化為行動、開始實施。

我國為了與世界各國氣候變遷調適工作同步，自 98 年開始起推動氣候變遷調適工作，行政院於 101 年及 103 年分別核定「國家氣候變遷調適政策綱領」[1]與「國家氣候變遷調適行動計畫（102-106 年）」[2]，此為我國第一期國家調適行動計畫。其後並於 108 年及 112 年分別提出「國家氣候變遷調適行動方案（107-111 年）」[3]及「國家氣候變遷調適行動計畫（112-

115 年）」[4]，透過跨部會、跨領域合作的調適策略，強化國家整體因應氣候變遷的韌性。總統於 112 年 2 月 15 日公布將「溫室氣體減量及管理法」修正為「氣候變遷因應法」（以下簡稱氣候法），除將 2050 年溫室氣體淨零排放目標入法外，同時提升氣候治理層級，增訂氣候變遷調適專章，將國家調適行動計畫、調適行動方案及地方調適執行計畫，納為政府應盡之義務。

2. 計畫目的

運輸系統與民眾生活息息相關，然而，目前各運輸管理機關（構）人員較缺乏面對極端氣候事件之調適專業知識，為提升相關人員之調適專業知能，本計畫期以 2 年時間，透過調查了解各運輸管理機關（構）人員之應具備的調適專業能力與缺口，規劃辦理運輸系統調適專業課程，以強化運輸管理機關（構）人員之調適專業能力，期能即早因應及降低設施面對氣候變遷衝擊之風險，維持運輸服務不中斷。

1.2 工作項目

本計畫以 2 年的時間探討及建構運輸管理機關（構）調適專業能力。第 1 年（112 年）主要工作在滾動檢討我國運輸系統氣候變遷調適策略、探討運輸管理機關（構）人員應具備之調適專業知能，規劃氣候變遷調適專業知識課程，並辦理運輸調適教育訓練。第 2 年（113）年主要工作在滾動檢討及辦理氣候變遷調適專業知識課程，並研議運輸管理機關（構）調適專業人才培育機制，俾提供運輸管理機關（構）辦理氣候變遷調適人才培育之參考。

以下分述全程與第 1 年期之工作項目。

1.2.1 全程（112－113 年）工作項目

本計畫全程（112－113 年）之工作項目如下：

1. 滾動檢討我國運輸系統氣候變遷調適策略。
2. 探討運輸管理機關（構）人員應具備之調適專業知能。

3. 規劃及辦理運輸管理機關（構）調適專業知識課程，並研提課程精進建議。

4. 製作運輸系統因應氣候變遷調適專業知識本。

5. 研議運輸管理機關（構）調適專業人才培育機制。

1.2.2 第 1 年期（112 年）工作項目

1. 滾動檢討我國運輸系統氣候變遷調適策略，並提出新版修正建議。

   (1) 蒐集分析目前國外最新調適發展趨勢。

   (2) 參考國外最新調適發展趨勢及研析各運輸管理機關（構）現行調適作為，滾動檢討並提出新版運輸系統氣候變遷調適策略。

2. 蒐集我國運輸系統調適策略各措施之具體實務應用案例。

3. 探討運輸管理機關（構）應具備之調適專業能力。

   參考國際氣候變遷調適發展趨勢、UNFCCC 運輸部門氣候行動關鍵願景各階段目標，以及國內外運輸系統調適專業課程，探討運輸管理機關（構）人員應具備之調適專業能力。

4. 盤點運輸管理機關（構）人員調適專業知能之缺口

   (1) 透過不分層不分類施放電子問卷調查及運輸管理機關（構）相關業務人員深度訪談，盤點運輸管理機關（構）人員調適專業知能之缺口。

   (2) 調查運輸管理機關（構）人員對調適專業知識之需求性及優先性。

5. 規劃氣候變遷調適專業知識課程

   (1) 蒐集研析國內外調適發展趨勢、調適法規及國內外調適課程，並參考運輸管理機關（構）人員之調適知識缺口及對課程之需求，規劃氣候變遷調適專業知識課程。

   (2) 課程規劃初步分為調適基礎課程、調適進階課程及各運輸系統專業課程 3 類。

   (3) 調適基礎課程為基礎科學、理念與法規類課程，採講授方式授課；

調適進階課程（含執行方法與指引類課程）及公路、鐵路、港埠、機場各運輸系統專業課程等，採講授或工作坊方式實施。

6. 辦理通案性及需求性強或優先性高之運輸調適專業知識教育訓練。

辦理兩場次共計 4 門課，12 小時氣候變遷專業課程，課程主題包括：氣候變遷及氣候災害、氣候變遷風險評估概論、自然解方（NbS）概念，以及國家法規與政策。

7. 配合前述工作及課程內容，提供運輸管理機關（構）人員諮詢服務。

8. 本計畫成果投稿於國內「2023 臺灣災害管理研討會」(112 年 12 月 8 日)，發表題目為:「運輸管理機關(構)調適素養與專業知識需求調查」。

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「滾動檢討我國運輸系統氣候變遷調適策略」及「蒐集各措施之具體實務應用案例」工作項目：研究範疇延續交通部運輸研究所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「運輸管理機關（構）應具備之調適專業能力」及「規劃氣候變遷調適專業知識課程」之工作項目：研究範疇為交通部轄管公路、鐵路、港埠、機場等運輸系統之部屬機關（構）及人員，參考國內外調適發展趨勢，盤點運輸管理機關（構）之調適知能缺口，規劃氣候變遷調適專業知識課程。

1.4 計畫流程

本計畫為兩年期計畫第一年，透過國外調適發展趨勢、氣候變遷因應法、國家氣候變遷調適行動計畫等文獻回顧，並與運輸管理機關（構）訪談，據此滾動檢討運輸系統調適四大策略 15 項措施，以強化運輸系統調適策略及措施內容，並蒐集補充各措施之國內外具體實務應用案例。

其次探討運輸管理機關（構）應具備之調適能力後，執行問卷調查和深度訪談，盤點目前運輸管理機關（構）人員的氣候變遷調適認知素養與調適知能缺口，據以規劃氣候變遷調適專業知識課程，規劃內容包含課題、課綱、師資和時數。本年度並對通案性及需求性強或優先性高之運輸調適專業知識辦理 12 小時之教育訓練。完整的工作流程摘要如圖 1.4.1 所示：

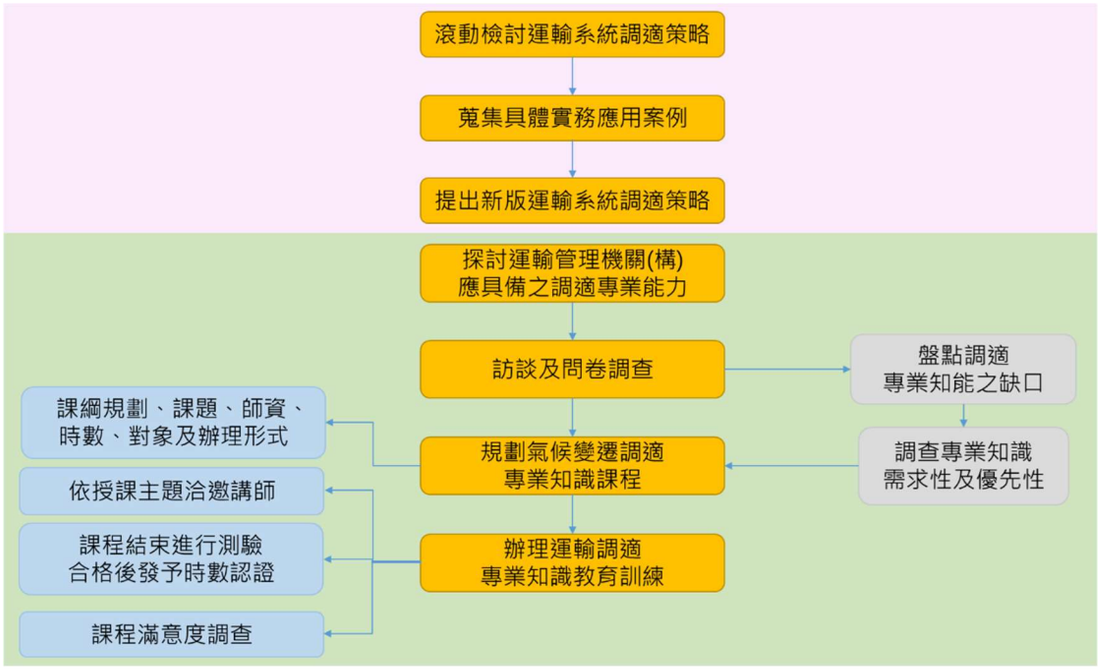


圖 1.4.1 工作流程圖

第二章 文獻回顧

為提供本計畫主要工作項目執行參考，針對運輸系統相關氣候變遷調適資料及參考文獻進行回顧與整理，回顧內容分為三部分：2.1 節探討氣候變遷對運輸系統之衝擊；2.2 節檢視國際氣候變遷調適發展趨勢；2.3 節彙整國內外運輸系統調適相關專業課程。最後一節進行小結歸納。

2.1 氣候變遷對運輸系統之衝擊

2.1.1 氣候因子在氣候變遷下的變化

減少溫室氣體排放的減緩行動對於避免氣候變遷嚴重惡化雖然至關重要，然而氣候變遷正在發生，無法完全阻止，平均氣候條件將發生變化，極端天氣事件將更加頻繁且更加強烈，過去被認為不脆弱的地點也可能發生極端天氣事件，基於歷史氣候數據的決策可能不再可靠。

聯合國政府間氣候變遷專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）於 2021 年 8 月 9 日公布氣候變遷第六次評估報告（IPCC AR6），因應此報告的公布，臺灣氣候變遷科學團隊，包含國科會「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫（TCCIP）」、中央研究院環境變遷研究中心、交通部中央氣象署、臺灣師範大學地球科學系，以及國家災害防救科技中心，也共同發布 IPCC 氣候變遷第六次評估報告之科學重點摘錄與臺灣氣候變遷評析更新報告[5]。

IPCC AR6 第一工作小組報告[6]的重要發現包括：自從第五次評估報告公布以來，極端天氣事件（如熱浪、豪雨、乾旱、熱帶氣旋）的觀測及其受人為影響的證據均已增強，無論哪種排放情境，全球地表將持續增溫至少到本世紀中。除非在未來幾十年內大幅減少二氧化碳及其他溫室氣體排放，否則全球暖化幅度將在 21 世紀超過 1.5℃及 2.0℃。

有關「IPCC 氣候變遷第六次評估報告之科學重點摘錄與臺灣氣候變遷評析更新報告」對於臺灣地區幾項氣候因子，未來的氣候趨勢推估如下：

1. 氣溫

(1) 平均氣溫

臺灣各地氣溫未來推估將持續上升。全球暖化最劣情境（Shared Socioeconomic Pathway 5-8.5, SSP5-8.5）下，21 世紀中、末之年平均氣溫可能上升超過 1.8℃、3.4℃；在理想減緩情境（SSP1-2.6）下，可能增加 1.3℃、1.4℃。

(2) 極端高溫日數

極端高溫事件中，各地高溫 36℃以上日數增加。在最劣情境（SSP5-8.5）下，21 世紀中、末，增加幅度約 8.5 日、48.1 日，其中，以都市地區增加較其他地區顯著；在理想減緩情境（SSP1-2.6）下，增加幅度約 6.8 日、6.6 日。

(3) 夏季長度增加

推估臺灣的夏季長度從目前約 130 天增長為 155-210 天，冬季長度從目前約 70 天減少為 0-50 天。

2. 降雨

(1) 年降雨量

臺灣年總降雨量有增加的趨勢。在最劣情境（SSP5-8.5）下，21 世紀中、末臺灣平均年總降雨量增加幅度約為 15%、31%；在理想減緩情境（SSP1-2.6）下，增加幅度約為 12%、16%。

(2) 暴雨強度

最大 1 日暴雨強度有增加趨勢。在最劣情境（SSP5-8.5）下，21 世紀中、末平均年最大 1 日暴雨強度增加幅度約為 20%、41.3%。在理想減緩情境（SSP1-2.6）下，21 世紀中、末平均年最大 1 日暴雨強度增加幅度約為 15.7%、15.3%。

(3) 連續不降雨日數

最大連續不降雨日數，各地有增加的趨勢，在最劣情境（SSP5-8.5）下，21 世紀中、末平均增加幅度約為 5.5%、12.4%；在理想減緩情境

（SSP1-2.6）下，21 世紀中、末減少幅度約為 1.8%、0.4%。

3. 暴風（颱風）

在最劣情境（Representative Concentration Pathway 8.5, RCP8.5）下，21 世紀中、末影響臺灣颱風個數將減少約 15%、55%，強颱比例將增加約 100%、50%，降雨改變率將增加約 20%、35%。根據國科會臺灣氣候變遷衝擊評析更新報告，在 RCP8.5 情境下，世紀末颱風風速將增強約 2%~12%，平均增強 8%。

4. 海平面上升

依據 IPCC AR6 之升溫 2°C 情境，將導致臺灣周邊海域海平面上升 0.5 公尺，升溫 4°C 情境，將導致海平面上升 1.2 公尺。

根據美國運輸部的運輸系統設備及營運的脆弱度評估[7]，預計氣候變遷造成的影響包括氣溫升高、降水變化、極端風暴、海平面上升、融雪變化、生態系統退化和土地變化。如果不採取具體行動，氣候變遷可能會損壞交通設施和建築物，並可能危及運輸系統員工和使用民眾的安全與健康。

2.1.2 對運輸系統造成衝擊的氣候因子

聯合國歐洲經濟委員會（UNECE）的報告[8]顯示，氣候變遷和極端天氣事件對國際運輸網絡的影響日益嚴重。運輸系統面臨這些挑戰時，風險尤為突出，尤其是在歷史上罕見的極端天氣事件發生時。這些風險不僅影響硬體設施，更對系統的維護、正常運作和安全性構成威脅。根據 2016 年的調查，強降雨/洪水、霧和高溫是主要的氣候壓力/危害因素，特別是對道路網絡而言。暴風/波浪則對港口、沿海公路和鐵路網絡造成顯著影響。舉例如下：

1. 持續高溫或熱浪頻率增加

持續高溫或熱浪頻率的增加對鐵路、公路和機場營運造成挑戰。例如，高溫會導致鐵軌彎曲、列車減速（當溫度超過熱閾值時）、道路路面損壞（如路面軟化、車轍、沖刷、滲水），以及飛機有效載荷減少等問題。乾燥和炎熱的夏季可能導致路面惡化，增加維護成本。熱浪也可能對運輸人員、乘客和貨物造成嚴重影響，特別是在高濕度環境下。

2. 強降雨和洪水

由於許多主要道路和鐵路位於或穿越洪氾平原，強降雨/洪水等極端水文氣象事件可能對交通基礎設施、營運和服務造成重大損害。極端降雨也會影響汽車客運站和火車站的運作。在強降雨事件期間及之後，道路、橋梁或鐵軌等基礎設施可能受到洪水直接損壞或沖毀，需要採取緊急應變措施來維護結構完整性。

強降雨引發的洪水和積水會損害鐵路運輸的安全性、效率和可靠性，可能出現的問題包括：軌道和線路側設備故障、河流水位上升和涵洞沖刷、橋梁和堤防遭洪水沖刷、地下隧道淹水、鐵路軌道和路堤、橋梁和涵洞的障礙物、山崩、土石流和岩石滑坡、人員安全問題以及車隊和維修站的可及性等。

3. 暴風

未來的極端暴風可能更加災難性，特別是在沿海地區，可能導致海岸防禦設施突破和沿海/河口鐵路洪水氾濫。極端強風也可能透過風產生的碎片、電車翻車、倒下的電線或樹木造成的鐵路線或道路障礙物，造成運輸基礎設施故障和服務中斷。

根據一項關注公路和鐵路基礎設施當前多種危害暴露/風險的研究（Koks, 2019）[9]，全球約 27%的公路和鐵路資產至少面臨一種危害，約 7.5%則面臨百年一遇的洪水事件，其中 73%與洪水有關。從成本效益分析顯示，對於遭受百年一遇洪水事件的約 60%的道路，加強防洪措施可能帶來積極回報。

以上主要針對陸上交通運輸，至於航空運輸部分，國際民航組織（International Civil Aviation Organization, ICAO）在航空業氣候變遷脆弱度報告[10]對全球航空利害相關人進行的調查顯示，平均氣溫和極端氣溫升高、降水量變化、風暴強度增加和海平面上升是航空運輸受影響最大的氣候因子，潛在影響包括營運、基礎設施、經濟和安全。這些影響依航空業各部門（如機場、空中導航服務提供商（Air Navigation Service Providers, ANSPs）和飛機營運商）的特性而有所不同。氣候變遷對機場造成潛在影響的 4 種氣候因子如表 2.1-1。

表 2.1-1 氣候變遷 4 種氣候因子對機場潛在影響

氣候衝擊	風險類別	潛在影響
平均高溫和極端溫度	操作	跑道長度： 爬升性能降低導致的操作限制，原因如下： • 較高的溫度會降低飛機在起飛過程中的推力和升力，降低起飛性能並需要更多的燃料，或減輕整體重量 • 由於跑道長度限制和爬升性能下降，某些機場乘坐某些飛機的能力降低
		火災風險增加，原因如下： • 更高的極端溫度 • 起飛時增加推力要求可能會釋放出更多的燃料蒸氣，增加著火的風險 • 野火發生率增加
		如果溫度超過設計標準，將損壞機場表面。
		對通風和空調（HVAC）系統的壓力： • 對冷卻能力的需求增加 • 所需冷卻時間增加（增加天數和白天的時間更長） • 更高的冷卻要求以達到可接受的溫度。（白天溫度較高） • 空調運轉的總成本增加。 • 潛在的系統故障–維護成本增加，使用壽命縮短
		增加維護和維修： • 跑道 • 滑行道 • 其他對高溫脆弱表面和基礎設施
		電氣系統（包括照明和標示牌）的劣化
	基礎設施	如果溫度超過設計標準，將損壞機場表面。
		對通風和空調（HVAC）系統的壓力： • 對冷卻能力的需求增加 • 所需冷卻時間增加（增加天數和白天的時間更長） • 更高的冷卻要求以達到可接受的溫度。（白天溫度較高） • 空調運行的總成本增加。 • 潛在的系統故障–維護成本增加，空調系統的使用壽命縮短
		增加維護和維修： • 跑道 • 滑行道 • 其他易熱表面和基礎設施
		電氣系統（包括照明和標示牌）的劣化
		接收過量機場水的水體生態系統的變化可能會影響機場對雨水排放的監管要求

表 2.1-1 氣候變遷 4 種氣候因子對機場潛在影響（續 1）

氣候衝擊	風險類別	潛在影響
	人	溫度高於 90°F/32°C 的天數增加，對工人和乘客的健康和安全影響。 高濕度且高溫加劇影響工人和乘客的健康。
	業務及經濟性	以下相關因素可能導致收入損失和/或成本增加： • 機場無法容納某些飛機 • 目的地航空旅行需求的變化 • 潛在的隔音或其他緩解措施 • 額外的消防服務和野生動物管理措施 • 維修（機場表面、基礎設施、通道等） • 能源成本和需求增加 • 廢物管理的變化 • 工作人員因受傷缺勤
降雨變化	操作	洪水對跑道和基礎設施的破壞
		航班延誤、取消和機場臨時關閉
		低能見度條件
		更具挑戰性的日常地勤操作
		更多維護、維修和大修
		氣溫升高可能導致飛機在低空（起飛的早期階段或最終進近）結冰事件增加，從而對安全產生重大影響
		增加飛機除冰和防冰設施的使用
	基礎設施	雨水排放系統容量不足導致淹水
		污染控制系統故障/淹沒導致地下水污染
		地面交通中斷
		機場基礎設施受損原因如下： • 冰雹 • 洪水造成的積水
		大雨： • 可能超過入口、出口、溝渠最大容量 • 預計風暴強度的增加可能會導致撕裂聲（例如岩石/瓦礫）比平時更頻繁地受到干擾，產生更多的異物碎片
		• 乾旱導致水資源供應減少
	人	暴雨、凍雨、冰暴、冰雹、暴風雪、颶風、熱帶風暴或其他降水事件可能會擾亂或阻止旅行，並限制進入機場和空中交通設施
		乘客在登機/下機時可能會暴露在雪、雨中，導致安全顧慮

表 2.1-1 氣候變遷 4 種氣候因子對機場潛在影響（續 2）

氣候衝擊	風險類別	潛在影響
	業務和經濟性	以下相關因素可能導致收入損失和/或成本增加： • 航班延誤、時刻表變更和取消 • 營運中斷 • 基礎設施和機場表面的維修和保養 • 裝置購置 • 新的培訓要求 • 新裝置與程式造成的安全事故 • 複雜操作 • 對廢物和水管理的額外/新要求 • 除冰液成本增加
暴風	操作	空中交通和機場營運中斷；恢復正常可能需要更長的時間、更多的延遲
		對跑道使用的影響：機場跑道在暴風雨期間可以保持開放，但營運可能會受到限制
		因雷擊威脅而延誤或取消的航班
		大風會導致暴風雪和暴風雪，這可能會限制能見度，並有可能減少或限制機場的營運
		機場營運和設備可能會在暴風雨中受損
		阻礙地面通行、流通、裝卸、停車等
	基礎設施	機場基礎設施可能會因強風暴（包括風暴潮）而受損或摧毀，從而影響： • 商業電力的可用性 • 電信服務，如電話、固定電話和手機 • 燃料供應 • 停車場設施 • 空調和暖氣 • 地面交通和機場通道 • 排水和徑流系統能力 • 路面惡化和污染加劇 • 地面通道、流通、裝載和停車受阻 • 增加維護、維修和大修 • 電氣系統故障/短路/尖峰
		• 設施可能會因暴風而關閉
	人	營運中斷給乘客帶來的不便

表 2.1-1 氣候變遷 4 種氣候因子對機場潛在影響（續 3）

氣候衝擊	風險類別	潛在影響
	業務和經濟性	與以下因素相關的收入損失或成本增加： • 航班延誤、時刻表變更、取消 • 營運中斷 • 基礎設施和設備的維修、保養等 • 基礎設施受損 • 新設備的購置、程式和相關培訓 • 應急程式和行動
海平面上升	操作	漲潮或風暴潮事件恢復期間，沿海機場暫時關閉
		沿海機場因永久性洪水而永久關閉
		洪水可能會限制或禁止進入機場
	基礎設施	淹沒低窪的沿海基礎設施，包括機場資產、機場和地面交通
		由於地下水位較高，排水系統受到影響，增加洪水的風險
	人	因暫時淹沒而導致航班延誤或取消給乘客帶來不便
	業務和經濟性	與以下因素相關的收入損失和/或成本增加： • 航班延誤、時刻表變更、取消 • 營運中斷 • 基礎設施、機場表面和設備維修 • 應急程序和行動 • 負面輿論

資料來源：International Civil Aviation Organization, Climate risk assessment, adaptation and resilience: key climate change vulnerabilities for aviation organizations, 2022，本計畫整理。

對於海運部分，港口設施從大型貨櫃港口到服務特定貨物（例如石油、煤炭、穀物或漁業）的中小型港口，均受到極端事件的影響。沿海洪水可能導致運輸系統在事件期間無法運作，並損壞碼頭、貨運區、儲存區和貨物，從而長期擾亂供應鏈。這些影響可能包括營運中斷、港口基礎設施和船舶的損壞，以及與腹地的連結受損。Christodoulou 和 Demirel 於 2018 年的研究[11]顯示，到 2100 年，平均海平面上升（SLR）預計將達 1m，極端海平面（ESL）則可能上升約 3m，超過 60%的歐盟海港可能會被淹沒。極端的風浪也可能造成航運災害，因為暴風可能導致海岸侵蝕、海浪超過港口和海岸防護設施以及沿海交通基礎設施被洪水淹沒。暴風還可能會導致基礎設施故障和運行中斷，原因包括強風夾帶的碎片、電線桿或樹木倒下形成道路障礙物，以及超過港口設備（如起重機）正常運作的風速等。

強降雨時，河流和洪水可能會破壞海運基礎設施，並由於水位和流速的突然增加而導致能見度下降，影響船閘和船隻的機動性，進而影響港口營運。此外，極端降雨還可能導致山洪暴發，影響連接港口的公路、鐵路、碼頭，以及內陸水道的營運。平均氣溫的升高和熱浪的頻率及持續時間增加，將對沿海運輸基礎設施和營運構成重大挑戰，包括影響乘客和人員的安全與健康，以及導致港口鋪面和導航設備的惡化等問題。有關氣候變遷對海運港埠設施及營運可能造成的影響[12]，如表 2.1-2。

表 2.1-2 氣候變遷對港埠可能造成的影響

氣候衝擊	潛在影響
平均海平面上升（Mean sea level rise, SLR）	若不進行重大升級（如提高港埠設施高度、海岸保護），設施被永久淹沒風險將增加，導致港口無法營運；港口進出路線變化；對中轉站（例如基爾運河）的衝擊影響；保險問題
極端海平面（Increased extreme sea levels, ESL）上升；**波浪**能量/方向的變化	基礎設施被淹沒的頻率/深度增加；港口設施長期淹水和受損；營運延誤導致損失增加；港口防護設施成本增加；航道淤積；疏浚需求提高；保險問題
強降雨：導致河流和洪水的極端事件的平均值和/或強度、類型和頻率的變化	基礎設施被淹沒和損壞；由於水位/流速突然增加，船閘和船隻的機動性下降；大霧導致能見度降低，進而使基礎設施被遮蔽和損壞；船閘和船隻因水位/流速突增，導致操作難度增加
溫度：高平均溫度；熱浪；暖天和涼天的變化	損壞鋪面；起重機無法運作；導航設備和貨物損壞；空調冷卻能耗增加；營運人員和乘客的健康/安全問題
暴風：極端事件發生頻率和強度的變化	碼頭和導航設備損壞；船舶航行、靠泊港口問題；起重機操作問題

資料來源：Climate changeimpacts and adaptation for coastal transport infrastructure: acompilation of policies and practices, 2020，本計畫整理。

將上述鐵路、公路、港埠及機場可能受到的氣候變遷衝擊之危害因子，包括極端溫度變化所造成的高平均溫度、熱浪/乾旱、冷/暖天數的變化問題，或極端降雨所造成平均降雨量變化、極端事件（洪水和乾旱）強度、類型和/或頻率的變化問題，彙整於表 2.1-3。

表 2.1-3 氣候變化對交通基礎設施和營運的影響匯總表

氣候衝擊危害因子	衝擊對象			
	公路	鐵路	港埠	機場
極端溫度				
高平均溫度； 熱浪/乾旱； 冷/暖天數的變化	• 路面荷重降低和劣化 • 瀝青路面變形 • 橋梁的熱損傷 • 山區道路邊坡災害增加 • 資產壽命縮短 • 冷卻需求增加（客運和貨運） • 極端溫度下的職業健康和安全問題 • 增加建設和維護成本 • 需求的潛在變化 • 冬季道路完整性降低，營運季節縮短	• 軌道屈曲 • 基礎設施和機車車輛過熱/故障 • 斜坡故障 • 信號問題 • 速度限制 • 資產壽命縮短 • 更高的冷卻需求 • 增加建設和維護成本 • 極端溫度下的職業健康和安全問題	• 基礎設施（如港口航道水位下降）、設備（如導航設備）和貨物的損壞 • 乾旱/河流水位下降，內河船舶航行受到限制 • 冷卻能耗更高 • 極端溫度下的職業健康和安全問題	• 基礎設施（如跑道、滑行道熱膨脹和材料老化）、設備（如導航設備）和貨物的損壞 • 冷卻能耗增加 • 航空運輸有效載荷限制（由於飛機起飛期間升力減少），延長跑道長度 • 極端溫度下的職業健康和安全問題
極端降雨				
平均降雨量變化； 極端事件強度、類型和/或頻率的變化	• 道路和橋梁的淹沒、損壞及沖刷 • 山體滑坡、土石流增加 • 橋梁橋墩、基礎設施沖刷及設備故障 • 低能見度增加事故 • 車輛牽引力降低 • 更頻繁的土石流	• 橋梁受洪水沖刷、損壞 • 排水系統和隧道問題 • 地下隧道淹水 • 山體滑坡、泥石流和岩石滑坡 • 路堤和土方損壞	• 港埠基礎設施淹沒、損壞 • 由於水位和流速增加，船閘和船隻的機動性下降	• 機場跑道/滑行道淹水，機場結構和設備受損 • 機場跑道牽引力下降（如凍雨） • 更頻繁使用路面除冰劑（跑道）、飛機除冰和防冰

表 2.1-3 氣候變化對交通基礎設施和營運的影響匯總表（續）

氣候衝擊危害因子	衝擊對象			
	公路	鐵路	港埠	機場
暴風				
事件頻率和強度的變化	• 圍欄損壞 • 車輛穩定性降低，增加道路交通事故風險 • 道路結構損壞（包括標誌和交通信號） • 障礙物（如電線杆/樹木倒塌） • 橋梁關閉	• 設施損壞 • 電壓突變 • 鐵軌障礙物（電線杆/樹木倒塌） • 列車翻覆 • 營運中斷	• 船舶航行和靠港問題 • 導航設備損壞	• 班機取消/延誤（如飛機無法降落或起飛） • 機場航站樓和導航設備損壞
海平面/風暴潮				
平均海平面上升（SLR）	• 沿海橋梁及設施沖刷、損壞	• 沿海橋梁及設施的沖刷和損壞 • 鐵路軌道、路堤、橋梁和涵洞的淹水、損壞及沖刷 • 地下隧道的洪水	• 港口基礎設施淹沒、損壞 • 增加進入港口的機會（如較重的船隻） • 港口保護成本增加，疏浚需求提升	• 機場跑道/滑行道被洪水淹沒，機場結構和設備受損
極端海平面上升（ESL）；波能和方向的變化	• 沿海道路的結構性損壞 • 暫時性洪水導致道路無法使用 • 交通延誤/改道	• 沿海鐵路、堤防和土方工程的結構性損壞 • 沿海列車營運的限制和中斷	• 資產淹沒 • 更高的港口建設/維護成本 • 影響航道 • 人員/企業搬遷	• 資產淹沒 • 更高的維護成本 • 跑道改位或機場搬遷

資料來源：Climate Change Impacts and Adaptation for International Transport Networks，本計畫整理。

2.2 國際氣候變遷調適發展趨勢

交通基礎設施是為長期使用而設計、且具有高度價值的國家資產，也發揮著重要的社會經濟作用。氣候變遷使這些基礎設施面臨風險，這是一個日益嚴重的國際問題。因此，本節蒐集摘要近年國際間調適來氣候趨勢的發展趨勢及先進國家的交通運輸調適策略，前者包括 IPCC 第六次評估報告及「聯合國氣候變遷綱要公約第 27 次締約方大會（COP27）」決議，後者則摘錄自歐盟國家、英國和美國等國家或地方的氣候變遷調適計畫。在本書第三章進一步與我國運輸系統調適策略、措施進行對應，依本節內容提出值得參採之處，以檢討修正我國調適措施。

1. IPCC 第六次評估報告

氣候變遷專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change，簡稱 IPCC）負責匯集全球氣候變遷相關的科學成果，每 5 至 7 年發布一次評估報告，提供國際氣候變遷的科學進展，作為決策與學術研究的參考。IPCC 已分別於 1990 年、1995 年、2001 年、2007 年和 2014 年發布第一次至第五次評估報告，並於 2021 年開始發布第六次評估報告（The 6th Assessment Report，簡稱 AR6）。評估報告由三個工作小組分工合作完成，第一工作小組（Working Group I，簡稱 WGI）負責氣候變遷的「物理科學基礎」，第二工作小組（Working Group II，簡稱 WGII）負責氣候變遷的「衝擊、調適與脆弱度」[13]，第三工作小組（Working Group III，簡稱 WGIII）負責「氣候變遷減緩」[14]，包括技術可行性、決策工具、各項減緩措施的治理選擇與社會接受度。三個工作組除了有各自的評估報告，並共同完成一本綜整報告（Synthesis Report，簡稱 SYR），綜整分析自前一次評估報告後的科學進展。

在 AR6「衝擊、調適與脆弱度」報告中指出，全球氣候韌性發展行動相較於先前 AR5 的評估更加迫切，並且將調適的工作重心從風險管理調整為提升氣候韌性。報告中應用許多新的知識來源，以理解氣候變遷的風險、影響和脆弱性，以及通過調適、減緩和永續發展來應對社會回應。特別強調社會正義和不同形式知識的新議題，並更關注氣候脆弱性和應對措施中的不平等、權力作用及參與實施過程，強調氣候正義的重要性。

在 WGII「衝擊、調適與脆弱度」第一章，出發點和關鍵概念仍持續肯定自然為本解決方案（Nature-based solutions, NbS）。在第六章，報告指出運轉良好的生態系統在緩衝城市、住區和基礎設施免受多種尺度的氣候災害影響方面發揮著重要作用。NbS 是指永續管理和恢復自然或改良生態系統的行動，能夠有效、調適性地應對社會挑戰，同時提供人類福祉和生物多樣性效益。灰色基礎設施（如道路、橋梁）通常會損害或消除維持生態系統、棲息地和生計所必需的生物物理過程，例如土壤封閉、溪流掩埋或改變水文。然而，混合方法正在興起，將生態和灰色（工程）基礎設施整合到調適規劃和災害防護中。這些混合方法不僅提升了基礎設施的韌性，也保護了生態系統，實現了雙重效益。

「衝擊、調適與脆弱度」決策者重點包括以下面向：

(1) 公平及正義：調適在所有地區的實施及規劃比例不斷增加，民眾對氣候變遷風險的認知也在提升。然而，目前調適的程度與減少氣候風險所需的調適程度之間仍有落差。現行多數調適措施往往分散、小規模，或針對特定部門，且更著重於規劃而非實施。由於調適成本和資金的差異，不同群體的脆弱度存在顯著差異，不當的氣候變遷因應作為可能加劇現有的不平等。因此，應特別關注包括女性、青少年、原住民族、在地社區及少數民族在內的傳統被邊緣化群體。

(2) 不當調適（maladaptation）的挑戰：自 AR5 公布後，橫跨眾多領域及區域的不當調適證據有所增加。在 AR6 報告中，「不當調適」被定義為可能導致氣候相關不利結果風險增加的行動，包括增加溫室氣體排放、增加或轉移對氣候變遷的脆弱度、加劇氣候衝擊的不公平或減少社會福祉。不當的氣候變遷因應作為可能導致脆弱度、暴露度及風險的困境，修正起來困難且代價高昂，並加劇現有的不平等。例如：海堤在短期內可以有效減少人員與資產損失，但大量採用人工設施建設，將對生態產生衝擊，導致長期鎖定效應並增加氣候暴露風險。不當調適可透過彈性、跨領域、包容式、長期的調適行動規劃與執行來避免，並為許多領域及系統帶來效益。

(3) 多領域跨部門整合的重要性：調適策略需跨部門合作，有助於提高調適的可行性和有效性。例如，以生態系統為基礎的調適方案，包含利用樹木與植被進行城市綠化，以局部降溫；利用天然河流系統、

濕地、上游森林生態系來蓄水與減緩水流，以降低洪水風險；沿海濕地可防止海平面上升造成的海岸侵蝕與洪水。

(4) 調適的限制來源：部分調適已達到人類調適的軟限制，這些限制主要來自財務、制度和政策，但有機會解決。例如，不平等和貧困限制了弱勢群體的調適能力，增加氣候融資可降低限制。然而，在部分生態系統中已經達到調適的「硬限制」，如暖水珊瑚（warm water carol reefs）的死亡。

(5) 明確的推動框架是關鍵：執行、加速及維持人類系統與生態系統調適的關鍵是其賦能條件（enabling conditions），包含了政治承諾及後續行動、目標明確的體制框架、政策工具及充足的財政條件等。

2. COP27 氣候峰會的調適重點

2022 年 11 月 6 日至 11 月 18 日，第 27 次締約國大會（27th Session of the Conference of the Partiestothe UNFCCC, COP27）[15]在埃及夏姆錫克（Sharmel-Sheikh）舉行。COP27 的四大目標設定如下：

(1) 減緩（Mitigation）：促使各國履行承諾，實現巴黎協定目標，將全球升溫控制在攝氏 2 度內，並努力維持在 1.5 度內。

(2) 調適（Adaptation）：熱浪、野火等極端氣候事件加劇，為了減少衝擊，各國必須擬定事前預防、及時因應的調適策略。

(3) 融資（Finance）：讓非洲、小島國家等發展中國家擁有充足資金，以進行氣候變遷減緩、調適工作。

(4) 合作（Collaboration）：確保所有利害關係人充分參與，特別是脆弱族群、易受氣候變遷影響的非洲國家，並將 COP26 成果化為行動，開始實施。

聯合國氣候變遷執行秘書 SimonStiell 於 COP27 開幕時呼籲各國關注以下三個目標：(1)COP27 需達成轉型落實「巴黎協定」，將談判化為具體行動。(2)取得減緩、調適、融資及損失與損害等工作進展，同時加大融資力度，特別是應對氣候變遷的影響。(3)加強透明度與責任制度原則。因此，COP27 討論重點更著重於減緩、調適、金融及合作。

已開發國家承認氣候變遷對開發中國家及氣候脆弱國家帶來之影響

及損失日益加劇，因此調適議題成為近兩年締約方大會之討論重點，會議期間，各組織代表人提出以下相關倡議：

(1) 夏姆錫克的調適議程（Sharm-El-Sheikh Adaptation Agenda）：該議程旨在解決調適差距，增加氣候脆弱地區的韌性，並提出 30 項調適預期成果。內容涵蓋糧食安全與農業、水資源、人類居住、海洋與沿海、基礎建設等規劃與融資。

(2) 全民預警行動計畫（Early Warnings For All）：聯合國秘書長公布此計畫以解決氣候觀測系統中的現有差距，特別是在發展中國家。許多發展中國家無法獲得預警和氣候資訊服務，聯合國計畫在五年內將投入 31 億美元，打造全球預警系統，為所有人提供極端氣候災害事件的即早預警。內容包含災害風險知識、觀測與預報、備災與應對，以及預警播送等。是為氣候變遷調適較容易實現之項目，既能拯救生命又能帶來經濟效益。全球調適委員會（Global Commission on Adaptation, GCA）指出，若開發中國家投資 8 億美元於此計畫，每年就能避免 30-160 億美元損失。

本次締約方會議決定必須包括一系列工作計畫，做為衡量影響、風險與脆弱性之指南，並確定如何進行國家規劃與具體實施措施。各締約方最終達成「夏姆錫克實踐計畫」（Sharmel-Sheikh Implementation Plan）的共識，該共識彙整 COP27 會議主要成果，涵蓋 16 項議題。其中與氣候調適有關的內容包括：

(1) 全球調適行動將持續至 COP28，並為全球第一次盤點提供相關資訊。

(2) 締約方同意採取適當的轉型作法，以提高國家的調適力，加強韌性，以降低氣候脆弱度。

(3) 要求富裕國家緊急且大幅增加氣候融資和技術轉移，以協助發展中國家應對氣候變遷的調適。

(4) 各國同意設立過渡委員會，於 2023 年的 COP28 提出實施新的資金安排和其他建議。這個委員會將於 2023 年 3 月底前舉行第一次會議。

3. 法國的國家氣候變遷調適計畫

為了應對氣候變遷帶來的風險，法國發布了國家氣候變遷調適計畫

（MEDDE，2011）[16]。2011 年首次發布第一期調適計畫 PNACC-1，涵蓋 2011-2015 年期間；第二期調適計畫（PNACC-2）涵蓋 2018-2022 年，該計畫的總體目標是採取必要行動，使法國本土和海外領土到 2050 年達成預期的區域氣候變遷調適目標，符合《巴黎協定》的長期目標及其他國際公約的相關目標。該計畫有六個主軸，涵蓋治理、預防和韌性、自然與環境、經濟部門、知識和資訊，以及國際舞台，每個主軸都有具體的措施。在「交通基礎設施和系統」領域，計畫涉及貨物和旅客運輸，以及氣候變遷預測對交通基礎設施和流動性的影響。為了應對未來極端氣候事件，展開了對交通網絡和基礎設施的調適行動，包括在交通規劃、建設和營運中考慮氣候變遷的影響，計畫中以開發工具和策略來增強基礎設施的調適能力。主要操作行動：

行動1：審查和調整交通網絡建設、維護和營運的技術標準。

行動2：研究氣候變遷對運輸需求的影響，以及對重塑運輸供應的影響。

行動3：制定統一的方法來診斷陸地、海洋和機場基礎設施的脆弱性。

行動4：繪製法國內地和海外領土的陸地、海洋和空運網絡的脆弱性，並制定適當和分階段的應對策略，以應對當地和全球氣候變遷問題。

為綜理生態、永續發展和能源部相關跨領域議題，自 2011 年起，法國成立跨領域工作小組，該小組由法國政府各運輸系統的相關領域專家參與。工作小組在 2015 年發布了一份技術報告，涵蓋氣候變遷對交通基礎設施和系統的設計、維護及營運標準的潛在影響（行動 1）。他們還發布一項名為「極端氣候事件對基礎設施、系統和運輸服務風險的分析」的方法學（行動 3 和行動 4）。這些行動涵蓋各種貨物和乘客運輸系統，包括航空基礎設施、橋梁、陸地工程、海上和港口基礎設施、鐵路、道路和隧道等。

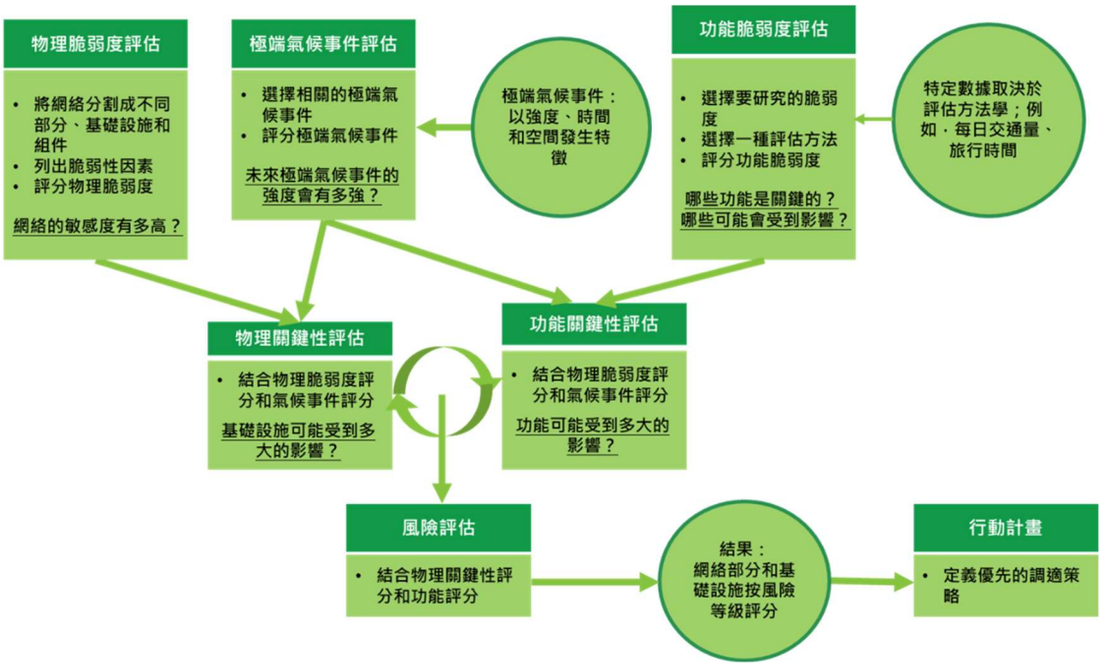
在行動 1 中，工作小組首先羅列了法國各區域主要氣候變遷情境，接著識別並討論交通基礎設施的設計、維護和營運所受到的實際氣候影響和未來預期影響，以作為更新技術、法規和規範標準，以及相關氣候預測的基礎。為了解氣候變遷趨勢，工作小組專家們採用了氣候變遷政府間專門委員會評估報告中的社會經濟情境。重要的氣候趨勢包括全球平均溫度上升、極端高溫的持續時間和強度增加、降雪日數減少、極端降雨頻率增加及風速變化等。工作小組根據氣候變數和基礎設施類型討論實際氣候影響

和未來預期影響，結論是氣候趨勢很可能對基礎設施本身或其維護、營運產生實質影響。交通網絡可能受氣候變數的變化和天氣事件的影響，如洪水、凍融週期的變化、風暴、霧、山體滑坡等。工作小組專家審查可能會受氣候變遷影響的標準，列出需要更新的預測和指標，並分析數百個技術、法規和規範檔，最後只考慮通常由工作小組代表的組織使用或制定的標準。文件被分為三類：第一類（氣候變數或天氣指標，對其沒有影響）、第二類（受變數更改影響的規範性或法規檔，需要更新）、第三類（技術檔，需要指定變數）。並為每種交通類型建立矩陣，其中包括文檔、類別、使用的變數和檔案類型，專家還列出必要的更新，包括要求進行時空預報，以及新的指標。完全更新標準的實現受到氣候預報可用性的限制，因此下一步將是持續更新預報，然後調整標準。

行動 3 的主要內容是關於定義協調一致的方法論，用於診斷基礎設施及陸地、海洋和機場運輸系統的脆弱度[17]（圖 2.2.1）。在執行行動 1 以適應氣候趨勢（標準條件和預期的極端事件趨勢）的同時，為了完成這一行動，已經開發了一種方法。這個方法根據專家知識和文獻探討，如聯邦公路管理局建立的風險評估框架報告。行動 3 還著重於如何評估基礎設施的物理脆弱性，以及交通網絡的功能脆弱性。這包括對不同類型的功能性脆弱性的評估方法，涉及關鍵的運輸功能（如使用救援服務、食品和健康中心等）及對旅客和貨物運輸的影響。

行動 3 強調如何將極端事件、物理脆弱度和功能性脆弱度結合，以確認風險等級。這個框架已經在不同類型的交通網絡和領土上進行測試，相關研究包括了勒阿弗爾港基礎設施的脆弱性評估、馬賽都市基礎設施的脆弱性評估、法國尼斯和馬賽兩個國際機場的航空基礎設施風險評估、南錫附近的城市多模式交通網絡的風險評估、自動化航空基礎設施風險評估，以及自動化道路和鐵路運輸的洪水事件風險評估等；這些試點研究有助於改進風險評估框架。最終，行動 3 的目標是建立一個綜合的方法，用於評估基礎設施和交通網絡的脆弱度，以便制定調適策略，包括氣候事件為導向的措施、基礎設施為導向的措施和功能為導向的措施。整個評估過程是一個反覆運算的過程，涉及文獻研究、資料收集、專家評估和多種評分尺度的制定。風險評估方法正在通過試點研究的回饋不斷發展和改進。該方法的目標是為管理人員和規劃者提供工具，以制定具有優先順序的調適措

施，增強其基礎設施和網路的韌性。下一步將是通過教育訓練和研討會來推廣，並建立法國各種網路類型的風險地圖。



資料來源：Colinetal., Adaptation of transport infrastructures and networks to climate change. Transport. Res. Procedia, 2016，本計畫整理。

圖 2.2.1 法國國家氣候變遷調適計畫行動 3 風險評估框架

4. 德國的調適策略

在聯合國歐洲經濟委員會 2020 年氣候變遷對運輸網絡和節點的影響和調適報告（Climate Change Impacts and Adaptation for Transport Networks and Nodes）[18]中，德國交通系統的氣候變遷調適策略案例，針對不同運輸方式和不同氣候危害的衝擊影響，整合到地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）中，以評估運輸基礎設施的暴露度、敏感性和關鍵性。

透過評估交通基礎設施的脆弱性和關鍵性，以便針對氣候變遷和極端氣候事件，制定、測試和實施相關的具體調適方案。科學工作分為 9 個相互關聯的子項目，每個子項目由 1 個機構協調整合影響交通網絡策略規劃、交通路線和各項基礎設施的 7 個聯邦機構共同參與（圖 2.2.2），包含：

(1) 氣候科學專業知識：德國氣象局和聯邦海事和水道測量局。

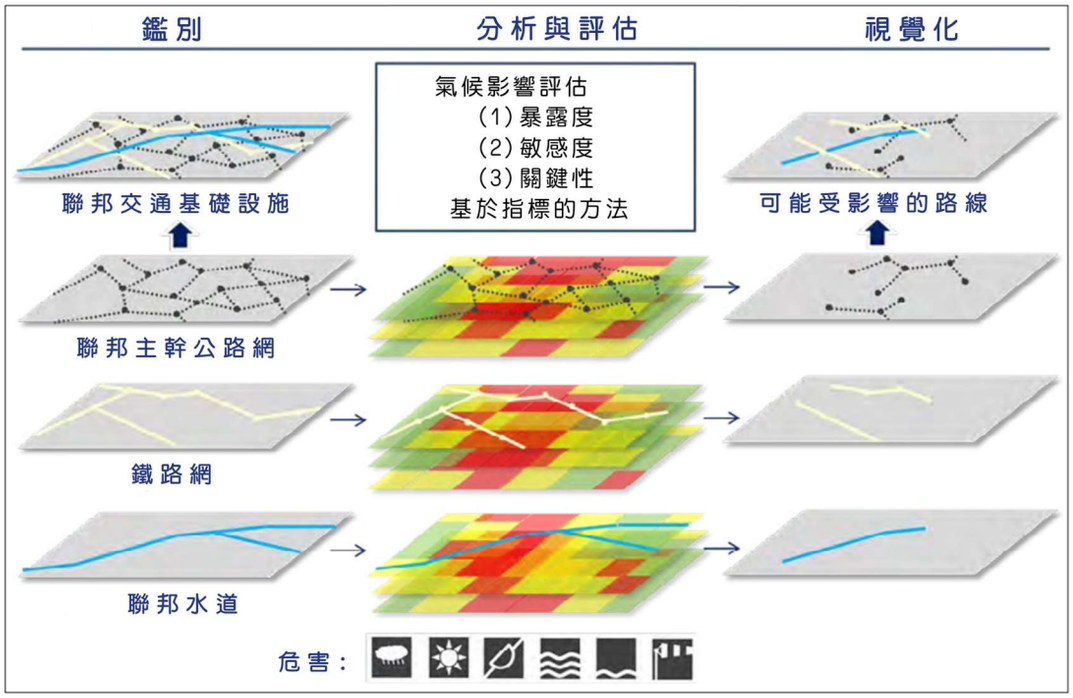
(2) 運輸專業機構：

公路：聯邦公路研究所。

鐵路：聯邦鐵路管理局。

水道：聯邦水文學研究所和聯邦水道工程與研究所。

貨運：聯邦貨物運輸辦公室。



資料來源：Climate Change Impacts and Adaptation for Transport Networks and Nodes, 2020，本計畫整理。

圖 2.2.2 德國整合氣候變遷衝擊評估系統示意圖

在這個計畫中，最關鍵的是各系統專家間的科學交流，整合對極端事件數據的需求和區域氣候預測是具有挑戰性的任務，例如與基礎設施損害相關的氣候因子所需的時間尺度為低於一日和高重現性，而氣象模擬通常提供日解析度資訊，且可信度最高的是平均氣候條件而非極端值。因此各系統需要密切協調整合，特別對於極端降雨和暴風強度的預測部分。

5. 英國倫敦市交通運輸氣候變遷調適計畫

2023 年英國倫敦市交通運輸氣候變遷調適計畫（Climate Change Adaptation Plan 2023-Transport for London）[19]的首要任務是確保運輸系統員工和使用者的安全，同時提供永續、可靠和有吸引力的服務，需要跨部門及系統間的相互依賴支援，且因為每個人偏好的交通運輸方式不一定相同，讓所有的運輸模式都提供良好的服務是非常重要的，在安全與可靠度

部分需考慮到以下事項：

(1) 安全是最高指導原則。氣候變遷使得安全營運的基礎設施和服務變得更具挑戰性。但安全是不能妥協的，因此在極端天氣事件期間，可能無法提供最高服務水平，甚至可能不得不關閉一些服務、道路和車站。

(2) 因應氣候變遷將需要額外的投資來避免或減少安全性和可靠性問題。

(3) 遭遇惡劣天氣事件時，首要目標是在安全的情況下提供營運服務，如果服務水平需要改變，儘早通知使用者對於確保運輸系統使用者和員工的安全至關重要。

倫敦市的運輸系統並非單獨存在，是由許多服務跨系統運作，包括使用共同道路的輕軌車輛及一般車輛；此外，還需依賴交通運輸以外的基礎設施，例如水、電力和通信服務，才能讓運輸系統維持正常營運。因此，相關解決方案需結合運輸系統及其他相關系統，方能達到最佳效果。

運輸系統和其他系統的關係可分為互相依賴及運輸系統依賴兩類，如圖 2.2.3 所示，以互相依賴的能源機關為例，可細分為以下交互影響關係：

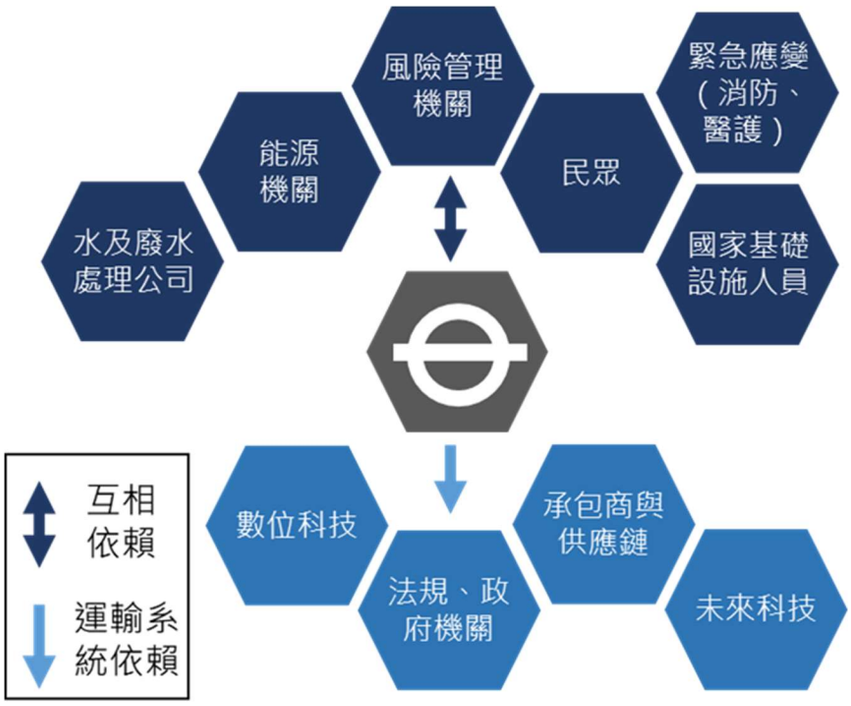
(1) 向發電站供應散裝燃料，並為能源部門工作人員提供可靠的通勤。

(2) 需進入倫敦交通局所轄土地進行維護工作。

(3) 為牽引、信號和其他操作設備和建築物（例如倉庫和車站）提供可靠的電力供應。

(4) 辦公室、倉庫和營運車站（包括候車室）的空調。

倫敦市交通運輸氣候變遷調適計畫，提供一個都市區域範圍的實施案例，並提出完整的運輸服務及運輸系統交互依賴的相關系統清單，可做為執行以社區為本的運輸調適計畫參考。



資料來源：Climate Change Adaptation Plan 2023- Transport for London，本計畫整理。

圖 2.2.3 倫敦市運輸系統與其他系統相互依賴關係

6. 美國的氣候行動計畫[20]

由美國運輸部（Department of Transportation, DOT）領導的美國氣候行動計畫為應對氣候變遷帶來的風險，特別是對於交通基礎設施和相應社區的安全、有效性、公平性和永續性的風險，以減少交通運輸部門的溫室氣體排放，並提高交通基礎設施的氣候變遷抵禦能力。這個氣候行動計畫包括了確保交通基礎設施計畫、政策和營運充分考慮氣候變遷的影響，同時納入調適和韌性解決方案。計畫指出調適和韌性策略必須依據對氣候變遷風險、影響和脆弱性的科學理解；因此，計畫和行動必需根據最新的科學研究進行不斷更新與評估。此外，計畫也強調調適和復原計畫將優先幫助最容易受到氣候影響的人群、社區和基礎設施。計畫將致力於透明的過程，讓社會各界有意義地參與決策，以解決與氣候變遷影響和調適相關的不平等和環境正義問題。並推動透過調適策略保護生物多樣性和生態系統服務，以提高人類和自然系統對氣候變遷和其他風險的抵禦能力。此外，調適行動需要跨多個部門、地理範圍和政府單位的協調；因此，調適行動的基礎需要建立在受影響社區現有的努力、知識和有意義的參與上。

DOT 很早就認知到需要使交通基礎設施和營運系統能夠調適氣候變遷的影響，從規劃層面一直延伸到專案開發和設計，對不同模式、地點和系統進行了脆弱度和風險評估。其中，一些組織機構已就如何進行氣候變遷對交通影響的脆弱度評估提供了指引，還有一些組織機構針對氣候變遷對設施的影響進行了脆弱度和調適案例研究，並開發了技術援助和工具，以更好地解決氣候變遷對運輸資產的影響。DOT 還進行一個優先研究項目，以開發工具來評估建立韌性交通基礎設施的成本和效益。

以下是 DOT 實施的 5 項優先調適行動，主要是加強其機關（構）計畫的氣候準備，以及聯邦採購、房地產、公共土地和水域及金融計畫的管理。

優先行動 1、將韌性納入 DOT 補助和貸款計畫：根據該行動，DOT 將在適當的情況下把韌性標準納入交通部酌情撥款和貸款計畫，以確保 DOT 款項支援的項目盡可能有效的納入氣候變遷韌性保護功能。DOT 於 2021 財政年度開始這項行動，但預計需要大約 2 至 4 年的時間才能完全整合，因此將持續尋找韌性專案的額外融資機會。此項行動將由已頒布的基礎設施立法授權實施，但根據美國現行法律法規，並非所有 DOT 基金和補助計畫都可以將韌性作為選擇標準，權限限制可能會影響聯邦資助計畫的韌性整合。

優先行動 2、增強整個專案規劃和開發過程的韌性：為確保聯邦資助的交通項目的規劃、設計和建設能夠調適氣候變遷的影響，這個行動將評估和更新目前的法規和指南，以在適當的情況下將韌性納入其中。如果發現差距，可能會發布新的指南。該行動還將包括向利害關係人更新指南，說明如何將韌性納入擬議行動的整個規劃和環境流程中，包括各州和大都會規劃組織以及整個社區更全面地進行的交通規劃。行動的措施包括：

- 盤點交通基礎設施的當前規劃、環境指南和法規，以評估如何納入韌性及在多大程度上需要額外資訊和更新。
- 制定工作計畫，優先考慮影響最大的法規和指南。
- 確定對內部和外部利害關係人有幫助的新指導或綜合文件，包括對可能受氣候變遷影響的社區進行教育，並制定要實施的工作計畫。
- 確保外部利害關係人對氣候資源的認識，並視需要提供教育訓練。

優先行動 3、確保 DOT 設施和營運資產的韌性：DOT 在 2018 年國家

氣候評估中，分析出 10 個氣候區域擁有或經營超過 10,000 項資產；此外，許多空中交通管制資產、辦公室、研究實驗室和其他分佈廣泛的關鍵任務建築將經歷一系列氣候影響，從海平面上升加劇的極端風暴，到更極端的熱浪，再到增加的氣候變遷衝擊影響，例如颶風、野火、龍捲風和洪水的數量和嚴重程度增加。為確保設施和營運資產能夠抵禦氣候變遷的影響，DOT 透過以下行動來增強這些資產的韌性。

- 指導營運管理部門之間持續和協調的行動，以進一步推動氣候調適能力的努力。
- 依據風險管理框架為每個關鍵任務資產分配，進行氣候敏感性和調適能力評分。
- 結合氣候敏感度評分和成本效益指標對項目進行排名，優先實施關鍵任務資產的調適項目。
- 探索實施可顯著降低氣候敏感度的創新技術和實踐（例如清潔能源技術和淨零建築）的機會。
- 追蹤並向領導層級和外部利害關係人報告實施進度。

為取得成功，DOT 與其他聯邦機構需要一起善用其員工的氣候調適知識和經驗。例如，美國總務管理局的聯邦高性能建築辦公室有許多專家可以協助各機構制定和實施建築氣候調適行動。以及商務部的國家海洋暨大氣總署、國家標準與技術研究所、國家建築科學研究所和能源部擁有交通部，可以利用具有相關專業知能之員工、專家來幫助實施這項優先行動。

優先行動 4、確保氣候就緒的服務和供應：DOT 為提高部門調適氣候變遷的能力，將提供教育訓練和便利性，以支持和鼓勵計畫管理獲取創新、新穎的服務和產品。DOT 藉著指導營運管理部門間持續、協調的採購行動，以進一步推進氣候調適工作，並將調適標準和要求納入採購流程和合約中。讓利害關係人參與研究創新、新穎的產品和流程的選擇。此外，指定 DOT 供應鏈管理並在需求定義過程中納入永續性審查，且在策略採購委員會和採購策略審查委員會會議及內部會議中加入氣候變遷調適要求。此行動亦需與其他聯邦機構一起利用其採購員工的氣候變遷調適知識和經驗。例如，總務管理局及聯邦採購政策辦公室，有許多專家可以協助各機構制定和實施與氣候調適相關的採購行動。

優先行動 5、改善氣候教育和韌性研究：為加強交通部內部員工的氣候變遷教育，填補氣候變遷知識和新技術使用的空白，以確保持續的開發研究，該行動將整個部門共享新資訊方式來實施。教育計畫重點涵括所有員工、現場、區域和高階管理層。行動也包含與專業工程和科學組織合作，例如運輸研究委員會、FHWA 的國家公路研究所和 OST-R（the Office of the Assistant Secretary for Research and Technology）的運輸安全研究所；此外，也建立一個韌性網站，使得利害關係人可在該網站上取得最新的指導文件，並透過該網站分享最新資訊。另將韌性納入標準部門培訓和工作人員績效計畫的各個面向。

DOT 根據 E.O.（Executive Order）第 211 條 14008 和 CEQ（Council on Environmental Quality）指令要求各機構確定管理採購、不動產、公共土地和水域，盤點最容易受到氣候變遷影響的財務項目的管理職能和/或決策點的脆弱度，包括不具備韌性之專案、不動產和營運資產的位置、關鍵任務活動的服務和供應中斷、該系統缺乏足夠的氣候變遷教育資源，以及受過韌性知識訓練的熟練員工不足等面向。因此，運輸系統機構需努力提高員工氣候素養，並增強氣候調適能力的機構行動，例如提高其建築物和營運資產的韌性，並採取內部調適行動。最後透過公平的視角來分析氣候變遷產品和服務供應的機構行動，以分析這些的項目如何影響弱勢社區。這項分析將氣候變遷抵禦能力納入交通運輸的計畫、政策和行動的努力。在分析 DOT 行動影響時，重要的是要確定這些社區及公眾有意義地參與其中，經由教育和溝通，使利害關係人了解潛在影響並共同製定解決方案，減輕交通行動和氣候變遷的影響。透過考慮氣候公平，DOT 需確保所有人都能從氣候解決方案中平等受益，並減輕一些社區承受的不成比例的氣候影響負擔。

7. 脆弱群體和社區及原住民族為本的交通調適措施

先進國家的交通運輸機構已經意識到氣候變遷對交通系統的影響，並著手開始將韌性納入交通規劃。這是因為交通系統在自然災害發生期間和發生後，對民眾流動性、緊急應變、獲得基本服務，以及社區整體社會經濟和健康福祉有著至關重要的角色。

在考慮韌性的同時，交通系統也應該關注使用者和依賴交通系統的人，

特別是社會弱勢群體。儘管國家級韌性政策通常著眼於減輕災害對有形資產的影響，但它們同樣應該考慮交通系統的使用者，特別是社會弱勢群體，因為這些群體在應對氣候變遷和災害方面可能面臨更大的挑戰。在實現交通公平目標之前，必須先辨識脆弱族群，制定相應的策略。

「交通沙漠」的概念[21]被用來協助辨識氣候變遷災害下交通設施方面的脆弱族群。「交通沙漠」的現象是關乎地點、管道和公平性，特點在於該區域人口活動依賴交通、缺乏交通便利性，且受到特定地理或物理形態的影響。一般城市居民雖然普遍認為交通便利，因相當多的人擁有私家車輛，但大多數城市也提供其他形式的公共交通，包括計程車、乘車共享服務、地鐵、輕軌或其他形式的公共交通。但這往往只適用於城市核心，而較偏遠地區（例如鄉村、山區或離島）的居民則因缺乏高效公共交通而變得脆弱。這些地區公共交通不頻繁、不方便甚至不存在，居民更容易受到氣候變遷事件的影響。因為缺乏必要資源和交通系統使居民無法獲得遠處資源或逃避災害及其後果，可能導致人們難以進行撤離，增加了災難期間的風險，並在會在應急或撤離時、以及災後恢復的過程中面臨額外的困難，而成為交通運輸的脆弱社群。

「評估弱勢社區和人群的交通系統韌性」[22]氣候調適政策指出應要考慮到對脆弱社群的公平性，氣候調適措施必須重點解決弱勢社區的影響，特別是對其在極端天氣事件中的交通服務考慮，包括交通導向的發展、提供平等的交通選擇，包括安全的聯通的行人、自行車和交通路線，以及支持電動車輛和新的交通方法和技術的基礎設施。建議首先應進行脆弱性評估，例如：將風暴潮和極端降雨預測與交通可用性特徵相結合，以評估地理上的脆弱性和交通訪問的公平性，因此必須取得風暴潮預報資料、人口統計數據（包括收入和汽車擁有情況）、地理數據，以及交通訪問數據（包括路線和站點位置），以制定有效的政策。在經常發生暴潮和水患致災的地區，應優先建設交通基礎設施，使人們更容易撤離。並在平時為了公平性傳遞必要知識，例如提高公眾對風暴管理影響的認識、向社區居民提供有關增強和減災的業主資源的信息、提供有關社區地理脆弱性、交通路線和訪問的知識。確保弱勢社區在交通、住房等方面擁有平等的機會，以達到環境正義。

「交通貧窮指標」[23]一詞，係以交通貧困概念的定義（如表 2.2-2），

並利用家庭預算調查的信息，提出一個衡量交通貧窮的新框架。這樣的框架包括衡量交通負擔能力和可及性的指標，有助於協助政府快速辨識在氣候變遷衝擊下，特別需要特別關注的弱勢社群，並以「交通沙漠」的概念評估該地區的交通系統韌性，以降低脆弱群體交通貧困。

表 2.2-1 交通貧窮概念性定義

概念	定義
交通負擔能力	指家庭為了教育、工作、購物和醫療保健等基本活動所需的基本出行能力。如果一個家庭無力承擔公共或私人交通等交通選擇，那麼它就會很脆弱。
流動性貧困	與交通和旅行選擇的系統性缺乏有關，通常與服務或基礎設施的缺乏有關
無障礙貧困	指無法在合理的時間、便利性和成本下進行關鍵的社會或經濟活動。鑑於交通是滿足某些需求和使某些權利有效的必要手段，無障礙貧窮再現了貧窮的一般狀況，並使社會排斥永久化。
交通外部性暴露	在更廣泛的定義中，交通貧窮的另一個面向是交通相關污染或道路交通意外所造成的疾病或傷亡。

資料來源：Alonso-Epeldeetal, Transport poverty indicators: A new framework based on the household budget survey, 2023.

8. 小結

綜整國外調適措施案例蒐集文獻回顧，歸納三個主要的國際氣候變遷調適發展趨勢。

(1) 將氣候調適內容納入行政體制框架中

IPCC AR6 WGII 強調利用法規制度、建立明確的體制框架、運用政策工具等，推動氣候調適實施、加速並維持氣候調適行動的重要性，是關鍵的賦能條件之一。為有效應對未來氣候變遷挑戰，法國成立了專門工作小組，負責定義氣候變遷情境，分析交通基礎設施受氣候變遷影響的標準，並審查數百個相關檔案，以建立需要更新的預測和指標；受到氣候預報可用性的限制，專門工作小組持續通過更新預報來調整標準、法規和規範。美國運輸部在其氣候行動計畫中，在機構計畫、聯邦採購、房地產、公共土地和水域及金融計畫，將氣候變遷概念整合至法規或審

查技術標準中，包括將氣候變遷的概念納入撥款和貸款計畫，更新法規和指南，並將氣候調適標準納入採購流程和適用合約，以確保聯邦資助的交通項目具有適應氣候變遷的韌性。此外，並將氣候調適納入政府法規和相關標準，有助於確保氣候變遷考量得以貫穿相應領域的各個階段和層面。

(2) 跨部門整合是有效應對氣候變遷的關鍵

不同國家的調適策略皆強調整合各專業領域的專家和機構，以提高調適行動可行性和效益。生態系統為基礎的調適方案包括城市綠化、水流減緩、海岸保護等，需要涉及環境、交通、都市規劃等多個領域的協同作業。法國和德國的案例中，建立了跨領域工作小組和相互關聯的子項目，由各部門的專家共同參與，以解決交通基礎設施和流動性的問題。英國和美國的調適計畫則強調解決方案的整合性，考慮運輸系統和相關基礎設施的相互依賴性，跨足氣候變遷、能源、土地使用等多個範疇，透過協同合作確保適切的氣候調適和韌性。在此過程中，科學交流、跨部門協調、專業知識共享成為不可或缺的手段，以應對極端事件和氣候變遷的威脅。

(3) 促進氣候行動的利害關係人合作與脆弱群體參與

根據 IPCC AR6 的報告，全球各地區正積極實施和規劃應對氣候變遷的調適措施，同時公眾對氣候變遷風險的認識也在增加。然而，報告指出實施的調適程度與實現減少氣候風險所需的調適程度之間存在一定的落差，特別是在脆弱群體中，這種落差尤為明顯，可能是因為這些群體在面對氣候變遷的挑戰時，由於財務、制度、政策等方面的限制，難以實現足夠的調適措施。因此，COP27 氣候峰會強調了在氣候行動中需要更加關注社會中較弱勢的群體，以確保氣候行動的公平性和全面性。美國運輸部（DOT）領導的氣候行動計畫則強調調適和復原計畫將優先幫助最容易受到氣候影響的人群、社區和基礎設施，因此更需要跨足多個部門、地理範圍和政府單位的協調。為實現這些目標，行動措施包括確定對內部和外部利害關係人有幫助的新指導或綜合文件，進行社區教育，並制定實施工作計畫。同時，確保外部利害關係人對氣候資源的認識，提供必要的教育訓練，並建立韌性網站，使利害關係人能夠取得最新的指導文件並分享資訊。此外，針對交通的脆弱族群辨識，可用「交

通沙漠」一詞來表示運輸系統的脆弱性，因該地區的居民缺乏交通多樣性和便利性，使其更容易受到氣候變遷事件的影響。因此，需對這樣的區域和族群進行辨識，並針對其需求制定相應的建議。

2.3 國內外運輸系統調適相關專業課程

本計畫蒐集國內外運輸系統調適相關專業課程，以協助國內運輸部門執行運輸系統調適課程規劃及教育訓練。

1. 教育部氣候變遷調適教育教材「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（2022 年版）」[24]

依據教育部之氣候變遷教學資訊平台資訊，教育部在高中職及大學課程，皆有針對領域分科設計教材或教案，高中職階段以提供通才式資訊為主，提供較為通識性之氣候變遷課程，建立年輕學子對維生基礎設施（含交通設施）與因應氣候變遷之基本概念；在大專以上之教材，則將分為「交通系統」與「通訊系統」兩部分，分別介紹永續運輸發展之策略，以及資通訊科技應用於氣候變遷之調適與減緩。由教育部對於交通系統氣候變遷專業教材之設計，亦可窺探運輸系統權責機關（構）人員應具之氣候變遷調適能力。

根據國立成功大學交通管理科學系編撰，教育部氣候變遷調適教育教材「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（2022 年版）」，交通系統（運輸系統）之氣候變遷調適訓練過程分為：

第一章背景與基礎概念

第二章公路系統氣候變遷調適策略

第三章軌道系統氣候變遷調適策略

第四章港埠設施氣候變遷調適策略

第五章機場設施氣候變遷調適策略

由該教材編撰結構可以得知，大專生氣候變遷專業培訓框架，是先建立通識性基礎知識，而後就不同運輸系統分別進行專業培訓。

在背景與基礎概念部分，則涵蓋氣候變遷定義與影響、大氣環流模式、溫室氣體情境、氣候變遷對交通系統的影響、我國氣候變遷調適策略與行

動方案，以及永續發展。在公路、軌道、港埠與機場等專業運輸系統氣候變遷調適策略部分，則先以了解氣候變遷對各系統的影響，接著介紹氣候變遷對該運輸系統的衝擊評估與風險管理、國內外氣候變遷調適行動方案等，並分為「專業融入補充教材」及「實作教材」兩冊，在實作教材除安排各章節上課時數，也提供各單元授課目的、內容與工具學習。

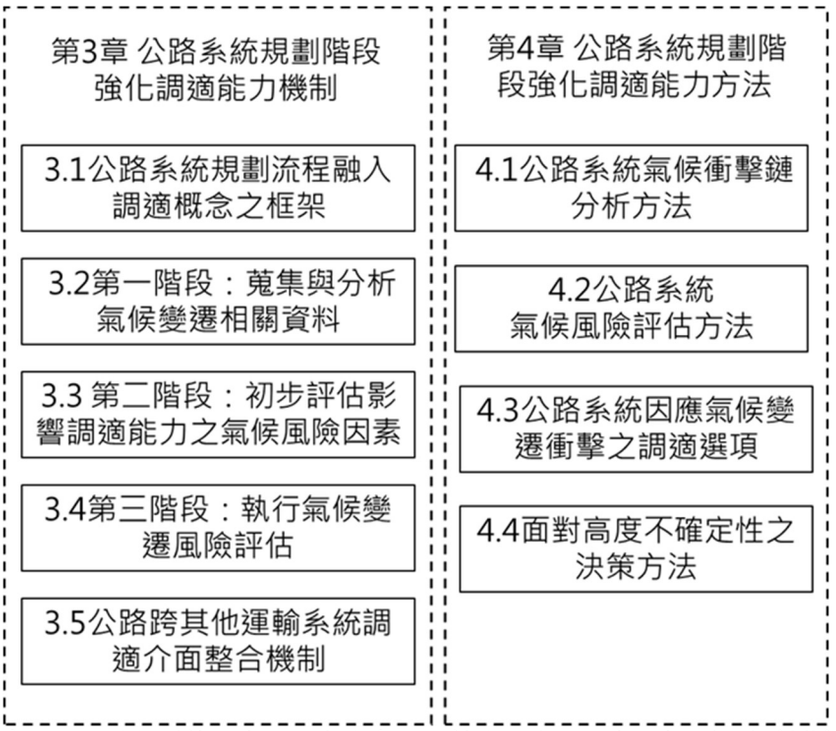
2. 公路系統規劃階段調適指引[25]

公路系統規劃階段調適指引旨在協助公路系統權責機關與實務從業人員於規劃階段更全盤性、系統性地納入氣候變遷調適理念，以提升我國公路系統在氣候變遷下的調適能力，建構具備氣候韌性的公路系統。本指引內容提出公路系統規劃階段融入氣候變遷調適理念「機制」及「方法」：「機制」係指將氣候變遷調適融入公路系統規劃作業之流程與步驟，「方法」指於上述機制內所提及之工作項目之作業方式建議。

指引將調適工作區分為執行氣候變遷風險評估及研擬調適選項（adaptation options）兩階段，包括公路系統於規劃階段指認出風險缺口所使用的方法，如：風險評估、氣候衝擊鏈分析法...等；調適選項係指改善現況缺口，以提升氣候韌性的各種方法，其涵蓋面從上到下包括：策略（strategies）、方法（approaches）、解決方案（solutions）及措施（measures）等。

本指引主要雖依據國內高速公路、快速公路、省道系統之規劃程序進行編擬，除其他公路系統之規劃可參用外，其他運輸系統也可依照其「機制」的概念與程序，再挑選適合該運輸系統使用的「方法」執行調適工作（如圖 2.3.1）。

在本指引中，將公路系統規劃作業流程區分為資料蒐集分析、方案研擬與評估以及工程研究與評估 3 個作業階段，並以工作流程圖標示各作業階段中，既有工作流程及該流程中應融入氣候變遷風險調適的程序，非常明確的引導融入調適程序的執行時機與執行項目。



資料來源：交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（2/2）-強化調適能力作為與指引，111 年。

圖 2.3.1 公路系統規劃階段調適指引提出之「機制」及「方法」

3. 美國聯邦公路管理局（Federal Highway Administration, FHWA）內部機構人員氣候變遷對營運管理訓練

針對氣候變遷對營運管理訓練時，FHWA 提出一份簡報教材（Adaptation To Climate Change in Transportation Operations and Maintenance-Technical Staff Briefing）[26]，內容並非針對特定事件或現象的專業解方研究，而是基礎管理人員應具備之氣候變遷調適知識。

該教材中將運輸部門氣候變遷調適通則性知識，分為若干個環節：

(1) 氣候資料之解讀：

瞭解天氣（Weather）、極端天氣事件（Extreme Weather Events）和氣候變遷（Climate Change）之差異，進而解析氣候與極端天氣事件近期和預測趨勢。

(2) 氣候變遷對交通部門影響：

為維護運輸部門在氣候變遷下之正常運作，必須培訓所有人員對運輸系統可能面臨之氣候衝擊具有最基礎認識，包括：降低道路通行能力、

替代路線失效、現況掌握能力下降（由於電力/通信中斷）、無法避難、使用壽命縮短（由於加速老化）、增加通行安全風險、經濟生產力的損失、不便性等。

(3) 不積極因應氣候變遷將導致更大風險：

人員需建立「不解決氣候變遷問題可能會使運輸機構面臨比現在更大的損失」、「與現在採取主動行動相比，以『一切照舊』方式營運會給交通部門帶來更大的風險」「不了解風險或未評估其營運脆弱性，機構可能會因意外事件而措手不及，導致在最需要的時候顯露無處理能力」等基礎原則認知。

(4) 可能的應對原則：

運輸部門的調適策略與措施制訂原則，可朝四個方向發展，分別是：維運系統之改變，如增加檢查頻率或監控設備等；標準作業流程（SOP）的更新或調整；旅次型態（Travel Behavior）的行為改變；貨運輸送方式之限制或管理。

(5) 調適框架之建立與實行：

簡單來說大致就是三步驟，第一步是「定義範疇及確認問題」，第二步為「風險評估」，第三步為「將風險評估結果導入決策」。

以本計畫主軸之運輸部門人員能力建構為例，該教材提出之解方或策略包括：短期加強職員氣候變遷培訓及教育氣候變遷如何影響他們的角色和職責，中期增加在極端事件期間提供可協助的合約人力可用性，長期則可採取僱用更多員工以滿足不斷增長的運輸部門維護和應急管理需求。

4. 歐盟專案經理指南：使脆弱的投資具有氣候韌性[27]

本指南指出專案經理對氣候韌性應有的基本認知，包括：開發專案的可行性研究、選址決策、環境或社會影響評估應將調適模組融入既有評估程序的一部分（主流化），而非取代原有評估程序，調適模組可能增加 1 至 10%經費。氣候變遷正在發生，無法完全阻止，除非脆弱性和風險得到適當管理，否則氣候變遷將日益影響專案績效和這些專案的投資。由於平均氣候條件將發生變化，極端氣候事件將更加頻繁、強烈，極端事件也將發生在以前被認為不脆弱的新地點。歷史紀錄可能已經不是未來的良好指南，基於歷史氣候數據的決策不再可靠。例如 2003 年歐洲遭遇了 500 年

頻率的炎熱夏季，導致超過 35,000 人死亡及經濟影響。到 2040 年，這個氣溫的發生頻率預計將是兩年發生一次。

因此在未來不斷變化的氣候中，專案計畫中原來沿用的設計閾值可能會更頻繁地被突破。氣候變遷可能會導致曾經被認為是「異常但可接受的閾值」失去意義，它變得經常發生且不可接受。為使未來更具氣候韌性，專案必須能運作在更嚴格規範的「正常」和「關鍵閾值」之範圍中間。

在著手調整資產和基礎設施時，需要考慮與整個系統及其各個組件相關的許多問題：

(1) 有些專案需要採用系統方法來進行調適規劃與設計。這可以透過相容性、一致性、彈性來顯著節省成本。例如，鐵路是一個「系統的系統」。透過設計這些不同系統之間的介面可以節省成本，因此在做出如何調適的決策時需要加以考慮。以鐵路為例，軌道被設計為與其所在的土方相互作用，軌道被設計為與車輪相匹配，土方被設計為支撐軌道和電氣化電線杆，車輪及其懸吊被設計為匹配軌道特性等。

(2) 在某些類型的基礎設施項目（例如交通）中，新建項目通常必須與現有資產對接。在為新建專案選擇調適措施時，重要的是要考慮這些措施可能如何影響整個系統及其脆弱性。

(3) 資產或基礎設施項目的各個組成部分可能有不同的壽命，其中一些元件預計會相當頻繁地更新（如，某些路面每 5–10 年更新一次），而其他元件的壽命則長達數十年（如橋梁）。有關調適的決定需要考慮這些差異，相關使用壽命較短之元件，對於壽命較長的元件，氣候變遷調適考量就變得十分關鍵。

將氣候調適能力融入傳統資產生命週期評估程序中時，在指南中提供之氣候調適工具包含 7 個模組：

① 敏感度分析（Sensitivity analysis, SA）

② 暴露評估（Evaluation of exposure, EE）

③ 脆弱度分析（結合模組 1 和 2）（Vulnerability analysis, VA）

④ 風險評估（Risk assessment, RA）

⑤ 調適選項的決定（Identification of adaptation options, IAO）

⑥ 調適方案評估（Appraisal of adaptation options, AAO）

⑦ 將調適行動計畫納入計畫（Integration of adaptation action plan into the project, IAAP）

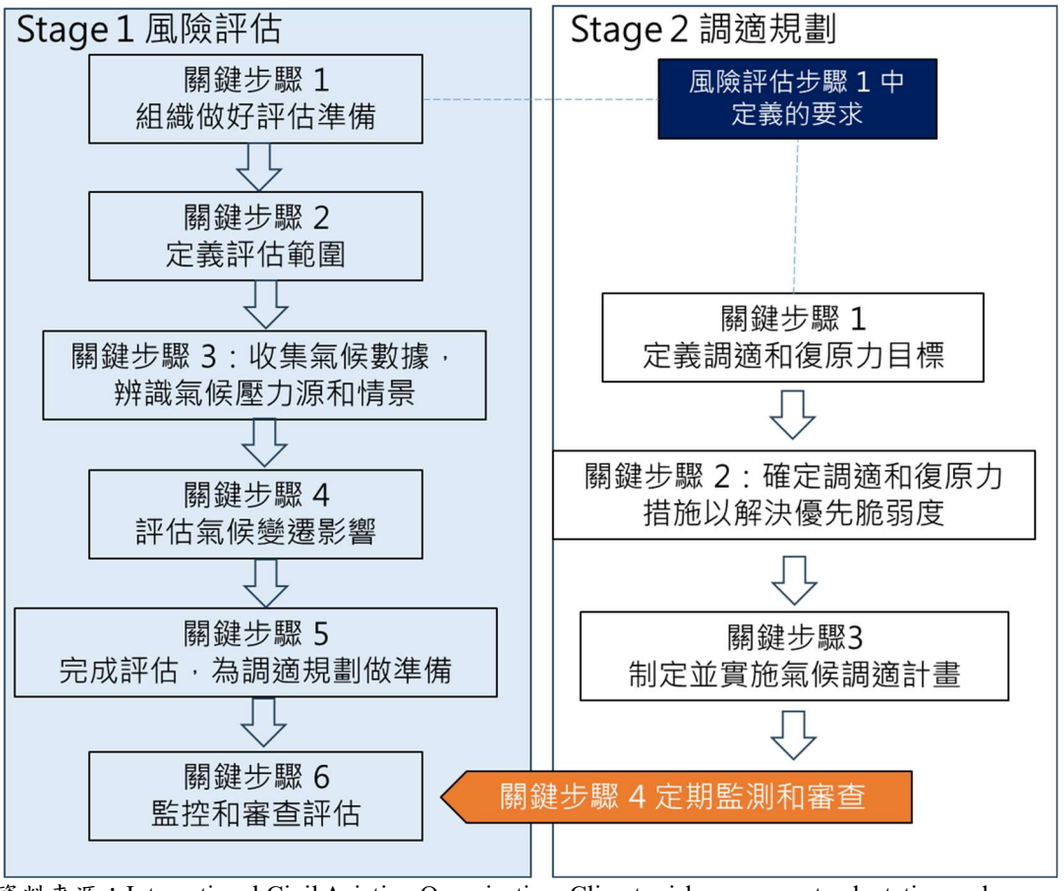
其中前 4 個模組屬於風險評估，後 3 個模組屬於調適規劃，在專案計畫從策略研擬、規劃、設計、施工、操作營運等階段，各有對應的調適模組應被融入既有程序（圖 2.3.2）。



資料來源：European Commission, Guidelines for Project Managers: Making vulnerable investments climate resilient, 2011.

圖 2.3.2 將氣候調適分析整合到傳統的資產生命週期流程

5. 航空組織氣候風險評估、調適與韌性：氣候變遷風險評估與調適規劃的關鍵步驟[28]



資料來源：International Civil Aviation Organization, Climate risk assessment, adaptation and resilience: Key steps in Aviation Organisation Climate Change Risk Assessment and Adaptation Planning, 2022，本計畫繪製。

圖 2.3.3 航空組織氣候變遷風險評估與調適規劃步驟

國際民航組織（International Civil Aviation Organization, ICAO）氣候變遷風險評估及調適計畫指南，旨在供全球航空網路中的機場、飛機營運商和空中導航服務提供者（Aircraft operators and air Navigation Service Providers, ANSP）使用。正在對其航空部門進行氣候變遷風險評估的國家也可以在國家層級使用，作為特定航空評估或作為更廣泛的國家、運輸部門評估的一部分。該指南具有廣泛的適用性，並且提供了通用步驟清單，各個組織和國家可根據其具體組織或國家情況進行調整。風險評估亦可根據組織的需要而簡單或複雜，風險評估的規模、範圍和預算也可根據組織的目標和資源進行調整。

航空組織在進行氣候變遷風險評估時需要考慮 6 個關鍵步驟，如圖 2.3.3 左側所示。分別為：①為評估做好準備，②定義評估範圍，③收集氣候數據，包括識別氣候壓力源和情景，④評估氣候變遷影響，⑤完成評估，

為調適做好準備規劃，以及⑥監控和審查評估。

製定氣候調適規劃時需要考慮 4 個關鍵步驟，如圖 2.3.3 右側。分別為：①定義調適和復原力目標，②確定調適和復原力措施以解決優先脆弱性，③制定和實施氣候調適計畫，以及④定期監測和審查。

6. 紐澤西州公路局氣候韌性與調適課程

紐澤西州公路局根據美國國家公路研究所（National Highway Institute, NHI）提供的培訓課程，規劃一系列課程以強化該州公路的調適和復原力。這些課程主要針對在交通機構（主要是州交通部）的工程、設計和專案開發/美國環境政策法（National Environmental Policy Act）單位工作的交通人員需求，也適合對規劃、資產管理、營運和維護有興趣的人員。預期學員包括來自州交通部、地方政府、部落政府、聯邦州機構和顧問等單位的專業工作人員，涵蓋的課程包括：

(1) 了解過去、現在和未來的氣候變遷（FHWA-NHI-142081，2 小時）。此課程將介紹：各種氣候變數的未來預測，包括降雨、溫度和海平面、氣候科學原理，以及這些變化對交通設施的潛在影響的概述。

(2) 溫度和降水預報簡介（FHWA-NHI-142082，1 小時）。展示如何制定適合交通規劃和設計的預報項目，並討論相關的限制和不確定性。

(3) 系統脆弱度評估（FHWA-NHI-142083，2 小時）。介紹脆弱度概念，以了解極端天氣對道路基礎設施的影響。學員將了解系統級脆弱度評估的目的、用於進行評估的各種技術，以及評估結果之應用。

(4) 專案決策的調適性分析（FHWA-NHI-142084，2 小時）。將向學習者介紹如何對專案開發流程進行設施之風險評估，並開發和評估調適選項，選擇合適調適策略。

(5) 解決公路計畫開發和初步設計中的氣候復原力問題（FHWA-NHI-141085（A））課程。這是一項由講師指導的培訓課程，學員將在課程中學習將復原力概念納入工程分析中，確定適當的復原力策略並認識到調適之間的潛在聯繫項目開發和環境流程，也將向學習者介紹調適評估方法。

(6) 將永續性融入基礎設施設計和決策：核心模組（FHWA-NHI-131134A）屬於基礎等級培訓課程。完成課程後，學員將能夠：①確定永續發

展的三大支柱（經濟、環境和社會）及其在基礎設施決策中的重要性；②透過交通領域的具體案例描述敏感性；③對交通決策的各個階段，舉例說明如何將永續性指標納入交通決策的每個階段。

(7) NEPA 和交通決策簡介（FHWA-NHI-142052）。本課程解釋聯邦公路管理局交通決策過程的方法，包括考慮交通對人類和自然環境的影響，同時平衡公眾對安全和高效交通的需求。本課程涵蓋環境品質委員會和 FHWA 制定的 NEPA 法規、政策和指南。

(8) 環境正義基礎（FHWA-NHI-142074，5 小時）。本課程解釋環境正義如何應用於交通決策的每個階段。在課程中，學員將了解在整個交通決策過程中考慮環境正義的各種策略和資源。

2.4 小結

氣候變遷已經發生，且不論對公路、鐵路、港埠或機場系統都有顯著影響，根據文獻回顧，各主要先進國家都已展開積極調適作為而非空談，且從 IPCC AR5 以來，雖已觀察到調適規劃及其推動的明顯進展，並產生了多重效益，但仍有人為調適已達到軟性條件的限制，以及不當調適的情形發生，因此，經過風險評估確認範疇，並回應社會不平等問題的整合性、多領域解決方案，是目前國際調適發展趨勢。本報告蒐集到與運輸系統調適相關的教材與課程，也充分顯示運輸是各先進國家積極推動的領域，相關課程規劃是值得我國運輸部門借鏡，以積極展開調適能力建構的範本。

針對不同運輸部門特性及可能面臨風險，國外已有非常多之相關研究或指引手冊可供參考，例如歐盟辦公室 2012 年曾出版「氣候變遷對公路和鐵路交通基礎設施影響（Impacts of Climate Change on transport: a focus on road and rail transport infrastructures）」[29]研究報告，提出歐盟對未來氣候變遷對鐵、公路運輸脆弱性評估與因應策略的總體展望，並分析了一些具體的調適情境與措施，說明政策制定需要考慮的關鍵問題；歐洲道路監理會議（European Conference of Directors of Roads, CEDR）於 2015 年曾提出過「道路基礎設施氣候變遷調適指南（Guidelines for adaptation of road infrastructure to climate change）」[30]，內容包括如何進行快速風險初篩及更細緻之脆弱度評估；2016 年國際運輸論壇（International Transport Forum,

ITF）出版了因應「氣候變遷及極端氣象交通調適」報告（Adapting Transport to Climate Change and Extreme Weather）[31]，主要針對基礎設施資產風險評估，包括設計標準過度規範（導致非生產性投資）或規範不足（導致資產故障或服務退化）的風險，並提供了政策見解來應對這些風險。

近年來，國際發展趨勢值得我國運輸部門調適執行參採的重點，包括建立風險評估方法學框架，將氣候調適概念納入法規制度、營運標準指南、計畫審查與採購過程中，並加強部門培訓與工作人員素質提升。在許多國家的調適工作中，尤其是在跨運輸系統的整合與跨部門合作方面，這被認為是成功執行的關鍵之一。此外，調適專業人才的培育，與利害關係人的溝通合作方式，以及脆弱族群的辨識原則等，也受到越來越多的重視。

綜整國內外運輸系統調適相關的專業課程設計，歸納交通部門應具備的氣候調適能力課程內容。首先，需學習氣候變遷的基礎概念，包括定義、影響因素和大氣環流模式等，以及國家的氣候變遷策略。其次，深入了解不同交通系統（如公路、鐵路、港埠、機場）的氣候變遷調適策略，應重點考慮影響較大的氣候衝擊。進一步學習氣候資料的解讀，區分氣象、極端天氣和氣候變遷的區別，並能解析氣候趨勢和事件。從業人員應具備風險評估與管理的能力，了解氣候變遷對交通部門及設施可能造成的影響，並意識到不積極因應的風險。

此外，課程應強調調適原則與框架的建立，包括制定運輸部門的調適策略和措施。整合氣候調適模組至專案開發流程，確保全程考慮氣候變遷的影響。學習氣候變遷風險評估的步驟，並在氣候調適計畫中持續監測和滾動檢討。了解系統脆弱度評估，特別是極端天氣對基礎設施的影響，以及基於風險的方法開發和評估調適選項。最後，整體課程應結合永續性原則，並納入環境正義的考量。這樣的課程結構旨在培養學生對氣候變遷調適的全面理解和實用能力。

第三章 運輸系統調適策略檢討及實務應用案例

依氣候變遷因應法及國際趨勢需求性，滾動檢討運輸系統調適策略措施，本章從檢視調適策略發展歷程、規劃檢討作業流程後，逐一說明各項調適策略措施，根據文獻回顧、法規發展等蒐集資料來探討目前策略措施的完整性，並提出檢討後的建議，同時提供案例做為實施參考，最後將檢討後完整的調適策略措施彙整措施綜理表。各小節分別為：3.1 節為前期調適策略概述；3.2 節調適策略檢討；3.3 節為實務應用案例資料蒐集；3.4 節為運輸系統調適策略措施檢討及具體實務應用案例；3.5 節運輸系統調適策略與措施綜理。

3.1 前期調適策略概述

交通部運輸研究所自 2017 年起透過盤點國內運輸系統調適課題、回顧國內外運輸系統調適趨勢，完成運輸系統調適策略研議，經 2018~2019 年滾動檢討修訂，以「提升衝擊耐受力」、「強化預警應變力」、「提高系統回復力」及「增進決策支援力」四大構面，歸納建議 15 項調適上位策略，於 2020 年「運輸系統因應氣候變遷調適之研究」[32]在「建構具氣候變遷韌性的運輸系統」目標的指導下，依循 ISO14090 揭示的十大調適原則，再次檢視並針對運輸系統調適策略進行滾動檢討，訂定「提升氣候衝擊耐受度」、「降低氣候衝擊脆弱度」、「優化氣候衝擊反應力」及「建構氣候衝擊決策力」四大策略及 15 項措施；2021 年「公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2）」[33]，再次進行滾動檢討，將四大策略調整為「提升衝擊耐受力」、「強化預警應變力」、「提高系統回復力」及「增進決策支援力」及部分措施調整。

3.1.1 先進國家運輸系統相關調適策略及措施

前期所彙整先進國家調適策略及措施包括歐盟、愛爾蘭、日本等國家，摘述重點如下：

1. 歐盟氣候變遷調適策略（2021 年）[34]

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」，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，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。

(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，包括促進調適策略之跨域合作、培養個人及地方政府尺度之氣候韌性能力、整合氣候韌性能力於國家財政架構及提倡以自然為基礎的調適策略。

(3) 更迅速的調適：全面加速調適行動之開展，包括加速推行具體調適行動、降低建築與基礎設施面臨的氣候相關風險及確立保險做為氣候風險移轉機制之核心。

2. 愛爾蘭運輸部門氣候變遷調適計畫（2019 年）[35]

該氣候變遷調適計畫的研擬流程如下：

(1) 籌備作業

(2) 氣候衝擊檢視

(3) 優先順序

(4) 優先衝擊評估

(5) 研擬計畫

(6) 執行、鑑定與修正

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，第四步則是就第三步所辨識的順序做完整暴露度、

敏感度與調適能力評估，第五步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。

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。

此外，並將運輸部門的調適行動計畫依屬性分為 3 個主要類型：

(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。

(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。例如增加都市區域的綠色空間以蓄留洪水，或強化沙丘系統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。

3. 日本氣候風險評估及調適指南（2019 年）[36]

由日本獨立行政法人國際協力機構（Japan International Cooperation Agency，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），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。其中有關基礎設施調適措施建議包括公路、鐵路、機場、港口等四大類運輸系統，其調適措施如表 3.1-1~表 3.1-4 所示：

表 3.1-1 日本公路運輸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	• 強化現有基礎設施結構以保護相關設備 • 重新設計或配置道路設施 • 執行護岸工程以保護防波堤、防洪堤 • 提升排水能力以應對強降雨、土壤沖蝕 • 以瀝青混凝土做為鋪面材料時，應考慮未來溫度的變化 • 確保通往醫院、避難設施及分發醫療物資之道路暢通
	公路系統設計	• 整體路網規劃時，納入脆弱度、氣候風險衝擊之評估 • 預留足夠的道路空間做為洪水、乾旱等事件之緩衝區 • 引進氣候風險預警系統、改善危害地圖
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：JICA, Guidance on climate risk assessment and adaptation, 2019.

表 3.1-2 日本鐵路運輸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	• 執行邊坡穩定工程 • 重新調整鐵路及隧道路線 • 建置或改善污水處理設施 • 研擬地鐵出入口之防洪措施 • 整修鐵路沿線鋼橋 • 實行生命週期成本分析以替換脆弱度高之資產
	鐵路系統設計	• 提供危害地圖予政府機關、鐵路營運商及乘客 • 建置邊坡坍方及落石監測告警系統，與列車控制系統連動 • 建置地下疏散導引系統 • 引進應變指南，提供列車改道或其他運行模式指引 • 繪製鐵路基礎設施及軌道脆弱度地圖 • 加強天氣狀況、基礎設備使用情形監測 • 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 • 與鐵路公司及營運商共同研擬極端事件應變計畫

資料來源：JICA, Guidance on climate risk assessment and adaptation, 2019.

表 3.1-3 日本機場運輸系統調適措施一覽表

主要面向	次分類	調適措施
社會及自然環境	基礎設施發展	• 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 • 整建機場跑道，針對跑道長度及方向進行必要之調整 • 遷移重要機場設備至高於海平面之處 • 維護備用電力系統、強化配電設施 • 建置滯洪池以應對極端降雨情形
	營運管理計畫	• 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） • 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 • 多樣化機場聯外大眾運輸系統 • 研議機場能見度改善措施、強化班機起降系統 • 依據機場跑道鋪面狀況，限制航線貨物裝載量 • 檢討高風險地區之土地使用計畫

資料來源：JICA, Guidance on climate risk assessment and adaptation, 2019.

表 3.1-4 日本港口運輸系統調適措施一覽表

主要面向	次分類	調適措施
社會及自然環境	基礎設施發展	• 維護防波堤及繫泊設施結構及功能 • 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 • 密切監測海域天氣狀況，並確保資訊共享 • 引進揚塵控制及預防系統 • 研擬道路設施防洪對策 • 研議淤沙控制措施，處理航道淤積問題 • 執行沿海護岸、港口疏浚工程
	營運管理計畫	• 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 • 考量生命週期成本，規劃港口更新開發時程 • 於港口管理機構開設氣候變遷培訓課程 • 增進對氣候變遷調適相關產品及貿易供應鏈之了解 • 製作危害地圖，加強地方政府及鄰近社區之應變能力

資料來源：JICA, Guidance on climate risk assessment and adaptation, 2019.

3.1.2 前一期調適策略滾動檢討概述

運輸系統調適策略上承「氣候變遷行動綱領」，下銜各運輸子系統運輸管理機關（構）之調適行動計畫，調適策略之定位、內涵、範疇與目標如下：

定位：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。

內涵：與災防救災策略區隔，須為因應氣候變遷增加的風險所採取的因應作為，才屬於氣候變遷調適行動作為。

範疇：設施範疇涵蓋鐵路、公路、機場、商港，時空範疇除現況的氣候衝擊外，亦考量未來氣候變遷風險，氣候狀態範疇聚焦於過往事件的強降雨、強風、暴潮、高溫與海平面上升等五大氣候壓力。

目標：建構具氣候變遷韌性的運輸系統。

由以上策略方向可以觀察出國家氣候變遷調適趨勢，原以減輕極端氣候災害及災後復健為主，偏向短期氣候事件之對應。國家對於氣候變遷調適推動持續滾動式調整，逐步加強對氣候變遷現象之長期因應，而運輸系統也持續配合提出新目標、新策略措施及新計畫。

運研所於 110 年「公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2）」計畫辦理運輸系統調適四大策略 15 項措施檢討調整。其中滾動檢討之重點包括：

1. 檢討調適策略架構的周延性及實用性。
2. 配合檢討後策略架構重組調適措施。
3. 納入文獻回顧相關發現及實務執行說明並補充案例，補強各項調適措施之內容說明。

前期運輸系統調適策略目標及四大策略檢討結果並未調整，仍維持提升衝擊耐受力、強化預警應變力、提高系統回復力及增進決策支援力四大策略（圖 3.1.1），僅重整調適措施（圖 3.1.2），主要調整項目如下：



資料來源：交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110 年。

圖 3.1.1 前期調整前運輸系統氣候變遷調適目標及四大策略



資料來源：交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110 年。

圖 3.1.2 前期調整後運輸系統氣候變遷調適四大策略及 15 項措施架構圖

1. 「1-5 強化跨運輸系統的運輸連結性」由原策略二「強化預警應變力」調整至策略一「提升衝擊耐受力」。
2. 「2-1 建構跨運輸系統預警應變網絡」由原策略三「提高系統回復力」調整至策略二「強化預警應變力」。
3. 「3-2 建立運輸系統設施的內部與外部備援方案」由原策略二「強化預警應變力」調整至策略三「提高系統回復力」。

3.2 調適策略檢討

本期滾動檢討流程依圖 3.2.1 流程進行。說明如下：

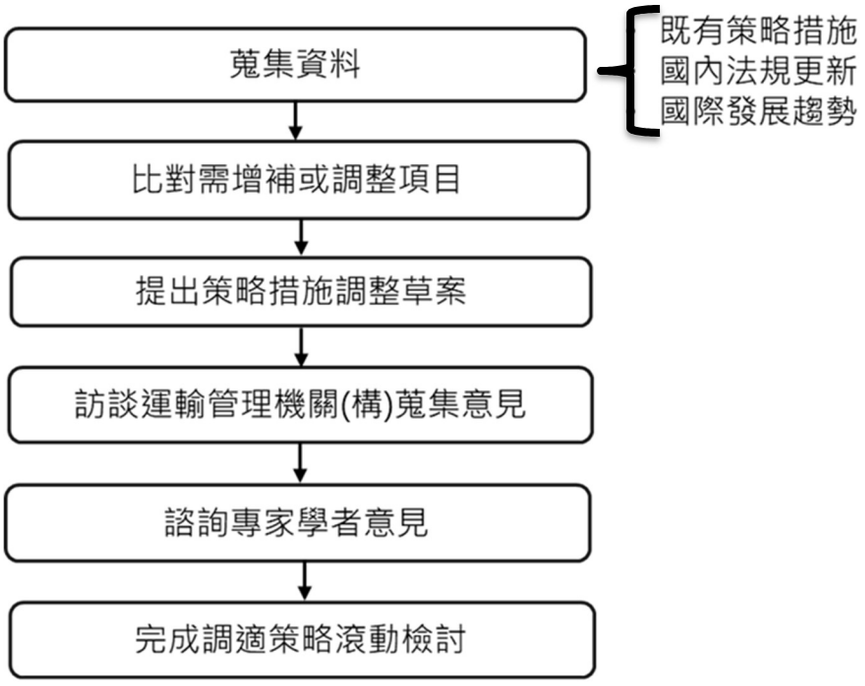


圖 3.2.1 調適策略檢討作業流程

滾動檢討作業的進行，首先即為資料蒐集。為瞭解我國運輸系統調適四大策略 15 項與先進國家差異，因此將本報告第二章文獻回顧之國際氣候變遷調適發展趨勢，與 3.1 節彙整前期調適策略概要列表參照比較，如表 3.2-1 所示：

表 3.2-1 運輸系統四大策略 15 項措施列表與國外調適措施比較表

策略	措施	國外調適措施	國家/單位
一、提升衝擊耐受力	1-1 建立設施安全性、與風險評估方法	[案例]開發「極端氣候事件對基礎設施、系統和運輸服務風險的分析」的方法學。定義一致的方法論，用於診斷基礎設施及陸地、海洋和機場運輸系統的脆弱性，包括物理脆弱性，以及交通網絡的功能脆弱性，以確定風險水準。此框架已在不同類型的交通網絡和領土上進行測試。[17]	法國
	1-2 迴避高風險潛勢地區持續受損點位改、廢線	[建議]自然為本解決方案（Nature-based solutions, NbS）：在關鍵基礎設施中，運轉良好的生態系統可以在緩衝城市、住區和基礎設施免受多種尺度的氣候災害影響方面發揮重要作用。[14]	IPCC
	1-3 檢討並將氣候調適概念納入規範或作業程序	[建議]法規制度及後續行動、目標明確的體制框架、政策工具是實施、加速和維持調適行動的關鍵賦能條件（enabling conditions），有助於降低氣候調適限制。[14]	IPCC
		[案例] 識別氣候變遷對交通基礎設施和系統，以及其設計、維護和營運標準的潛在影響，並發布技術報告。[18]	法國
		[案例]為確保聯邦資助的交通項目的規劃、設計和建設能夠適應氣候變遷的影響，進行目前法規和指南的評估和更新，以在適當的情況下將韌性納入其中。 如果發現差距，則發布新的指南。[20] [案例]在供應鏈管理的需求定義過程中納入永續性審查，且在策略採購委員會、採購策略審查委員會會議，以及內部會議中加入氣候調適的要求。[20] [案例]將韌性納入標準部門培訓和工作人員績效計畫的各方面。[20]	美國 DOT
	1-4 運用或研發新科技、材料、工程工法或設備	[建議]採取適當的轉型做法，以提高國家的調適力，加強韌性，以降低氣候脆弱度。[15]	COP27
		[案例]探索實施可顯著降低氣候敏感度的創新技術和實踐（例如清潔能源技術和淨零建築）的機會。[20]	美國 DOT
	1-5 強化跨運輸系統的運輸連結性	[案例]倫敦市交通運輸氣候變遷調適計畫提出完整的運輸服務及跨運輸系統交互依賴的相關系統清單，可做為執行以社區為本的運輸調適計畫參考。[19]	英國 倫敦市
二、強化預警應變力	2-1 建構跨運輸系統預警應變網絡	[建議]預警系統的建立，包含災害風險知識、觀測與預報、備災與應對，以及預警播送等內容，既能拯救生命又能帶來經濟效益。[15]	COP27
		[建議]遭遇惡劣天氣事件時，首要目標是在安全的情況下提供營運服務，需儘早通知工作人員決定關閉服務或設施，以及使用者對運輸系統的使用或促使改變安排。[19]	英國 倫敦市
	2-2 檢討並調整氣候變遷環境下之風險監測機制	[案例] 根據整合極端事件數據和區域氣候預測到地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）中的氣候變遷衝擊評估系統，來評估及監測運輸基礎設施的氣候風險。[18]	德國

表 3.2-1 運輸系統四大策略 15 項措施列表與國外調適措施比較表（續 1）

策略	措施	國外調適措施	國家/單位
三、提高系統回復力	3-1 建立分階段復建原則	[案例]透過結合氣候敏感度評分和成本效益指標對項目進行排名，優先實施關鍵任務資產的調適項目。[20]	美國 DOT
	3-2 建立運輸系統設施的內部與外部備援方案	[案例]完整的運輸服務和通信服務、跨運輸系統及能源機關交互依賴的相關系統清單確保運輸系統維持正常營運。[19]	英國倫敦市
四、增進決策支援力	4-1 建立調適計畫投資決策評估方法	[建議]增加氣候融資提供充足的財政賦能條件（enabling conditions），可降低調適的限制。[14]	IPCC
		[建議]調適計畫的投資能避免更大的損失。[15]	COP27
		[案例] 為確保款項支援的項目盡可能有效的用在氣候變遷調適韌性功能上，在交通部酌情撥款的計畫中納入韌性標準，以做為驗收評估標準。[20]	美國 DOT
	4-2 建立調適計畫監控與滾動檢討機制	[建議]應持續監控調適計畫並滾動檢討以避免不當調適（maladaptation）。[14]	IPCC
	4-3 建置或應用風險管理與調適所需資料庫及工具	[案例] 定義一致的方法論為管理人員和規劃者提供工具，以制定具有優先順序的調適措施，以增強其基礎設施和網路的韌性。[17]	法國
		[案例] 氣候變遷衝擊評估系統，針對不同運輸方式和不同氣候危害的影響，整合極端事件數據和區域氣候預測到地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）中。[18]	德國
	4-4 強化氣候調適跨域整合推動與機制	[建議]調適策略需跨部門合作，才能提高調適的可行性和有效性。[14]	IPCC
		[案例]在生態、永續發展和能源部下的機構監督，成立了跨領域工作小組，由政府的各種交通系統的專家參與，包括技術服務、不同公共交通管理機構，以及非營利組織等。[11]	法國
		[案例]評估交通基礎設施的脆弱性和關鍵性計畫中的每個子項目皆由一個機構協調整合影響交通網絡策略規劃、交通路線和各項基礎設施的七個聯邦機構共同參與，氣候科學專業知識部門及運輸專業機構。[12]	德國
		[案例] 建立運輸系統和其他系統互相依賴及運輸系統依賴的關係網絡，例如水、電力和通信服務，以確保各種服務跨系統運作，讓運輸系統維持正常營運。[19]	英國倫敦市
		[案例] 增強交通資產的韌性需要一起善用跨單位及跨部會員工的氣候調適知識和經驗。[15] [案例]與其他機構採購員工一起交流的氣候變遷調適知識和經驗，可以協助各機構制定和實施與氣候調適相關的採購行動。[14]	美國 DOT

表 3.2-1 運輸系統四大策略 15 項措施列表與國外調適措施比較表（續 2）

策略	措施	國外調適措施	國家/單位
四、增進決策支援力	4-5 培育氣候變遷風險管理與調適專業人才	[建議]減少氣候風險與所需調適程度之間的落差，需加強調適專業人才培育[14]	IPCC
		[案例]通過教育訓練和研討會來推廣已開發測試之風險評估框架，並建立全國範圍內各種網絡類型的風險地圖。[18]	法國
		[案例] 為填補氣候變遷知識和新技術使用的空白、支持和鼓勵計畫管理獲取創新、新穎的服務和產品，確保持續的開發研究，提供部門教育和便利性以提高調適氣候變遷的能力。教育計畫重點涵括所有員工、現場、區域和高階管理層。[20]	美國 DOT
	4-6 調適計畫與利害關係人溝通或合作	[建議]因為調適成本與資金的差異，導致弱勢群體的調適落差大，需注重參與實施過程、不平等和差異性影響，以及氣候正義。[14]	IPCC
		[建議]確保所有利害關係人充分參與，特別是脆弱族群、易受氣候變遷影響的區域。[15]	COP27
		[案例]確定對內部和外部利害關係人有幫助的指導或綜合文件，包括對可能受氣候變遷影響的社區進行教育，並制定要實施的工作計畫。[20] [案例]確保外部利害關係人對氣候資源的認識，並視需要提供教育訓練。[20] [案例]讓利害關係人參與研究創新、新穎的產品和流程的選擇。[20] [案例]建立一個韌性網站，使得利害關係人可以在該網站上取得最新的指導文件，並可以透過該網站分享最新資訊。[20]	美國 DOT
		[案例] 評估弱勢社區和人群的交通系統韌性交通及脆弱族群辨識。[21,22]	美國

根據 AR6「衝擊、調適與脆弱度」報告所述，目標明確的體制框架是執行、加速及維持人類系統與生態系統調適的關鍵賦能條件。我國自 2012 年 6 月，行政院核定「國家氣候變遷調適政策綱領」，訂定調適政策願景、政策原則及政策目標，並提出因應調適策略，再依此架構由各部會及所屬機關進行調適行動方案與計畫規劃、執行及控制。2015 年通過「溫室氣體減量管理法」，為建構我國氣候法制基礎；於 2023 年修正為「氣候變遷因應法」，法規修正重點除 2050 淨零排放目標入法、提升層級強化氣候治理，明定中央由行政院國家永續發展委員會協調、分工或整合國家因應氣候變遷基本方針、跨部會相關業務之相關決策外，更提升氣候治理的賦能條件，並增訂氣候變遷調適專章(條文為第 17 條至第 20 條)。調適專章可分為調適能力建構、強化科研接軌、確定氣候變遷調適推動架構等 3 重點，簡述如下：

1. 調適能力建構：為提升國家整體因應氣候變遷基礎能力，政府應推動調適能力建構事項。
2. 強化科研接軌：由中央科技主管機關綜整氣候變遷科學、情境及風險資訊，定期公開氣候變遷科學報告，各級政府進行氣候變遷風險評估，作為調適推動依據。
3. 確定氣候變遷調適推動架構：由中央目的事業主管機關訂定「權責領域調適行動方案」，中央主管機關整合擬訂「國家氣候變遷調適行動計畫」，地方政府訂定「氣候變遷調適執行方案」強化因地制宜之調適策略，透過每年編寫成果報告，踐行資訊公開及公眾參與程序。

其次，滾動檢討作業的第二步為比對需增補或調整項目。本研究綜上資料分析比對，歸納以下 5 點是目前運輸系統調適策略措施尚未涵蓋，其中 4 點參考氣候變遷因應法第四章調適專章的第 17 條「為因應氣候變遷，政府應推動調適能力建構之事項」，第 5 點自然為本則為呼應聯合國決議，分別說明如下：

1. 整合跨領域及跨層級工作

IPCC AR6 及不同國家的調適策略皆強調整合各專業領域的專家和機構，以提高調適行動可行性和效益，是為調適行動能否成功執行的重要關鍵之一。依氣候變遷因應法第 17 條第 4 款，建立各級政府間氣候變遷調適治理及協商機制，提升區域調適量能，整合跨領域及跨層級工作。

除上述法規的規範之外，整合跨領域及跨層級工作的實際需求還包括以下幾個原因：

(1) 多樣化的影響：氣候變遷影響範圍廣泛，從自然生態系統到人類社會經濟活動，每個領域都會受到不同程度的影響，而運輸系統的運作包括軟、硬體設施及員工和服務的旅客，在面臨高溫、暴雨、海平面上升等極端天氣時，因此會產生多樣化的影響，都需要考慮氣候變遷的影響。

(2) 綜合性解決方案：由於氣候變遷的影響是多方面的，因此需要不同領域的專家共同合作，提出綜合性的解決方案，解決運輸系統的問題可能需要水利、國土規劃、能源及數位通訊等相關單位協同解決。

(3) 技術創新與應用：當科學研究、工程技術、通訊技術等多個科技領域合作開發出創新技術或工具能夠解決運輸系統的氣候變遷問題時，有機會將氣候變遷的危機化為轉機。

2. 建構綠色金融機制

依氣候變遷因應法第 17 條第 5 款，因應氣候變遷調適需求，建構綠色金融機制及推動措施。

除上述法規的規範之外，綠色金融機制在支持氣候變遷調適具有關鍵角色，原因包括：

(1) 額外的資金需求：應對氣候變遷的調適措施，如建造能夠在更高水位通行的橋梁即需要額外的大量資金，將排擠原有建設，惟傳統的資金來源往往不足以滿足這些需求，因此需要綠色金融來提供額外的資金支持。

(2) 鼓勵可持續投資：綠色金融機制可以鼓勵投資者投資於永續的項目，不僅有助於減緩氣候變遷，還能促進調適措施的實施，政府也可以透過綠色金融機制，如稅收優惠、補貼等方法激勵企業和個人採取更多的氣候變遷調適措施。

(3) 風險管理：氣候變遷帶來了許多不確定性和風險，綠色金融可以協助企業和政府掌握營運風險與機會，以管控氣候變遷風險。

(4) 公部門與私人部門的合作：綠色金融機制可以促進公部門和私人部門之間的合作，共同投資於氣候調適項目。

3. 加強專業人才培育

IPCC AR6 提到，減少氣候風險與所需調適程度之間的落差，需加強調適專業人才培育。依氣候變遷因應法第 17 條第 7 款，強化氣候變遷調適之教育、人才培育及公民意識提升，並推展相關活動。

由於氣候變遷是一個複雜且持續變化的問題，因此培養足夠的專業知識和技能專業人力是調適推動能夠成功的關鍵因素，以確保各機關（構）具有足夠的專業知識和技能推動調適業務。

4. 強化脆弱群體、融入社區及原住民族為本

依據氣候變遷因應法第 17 條第 8 款，強化脆弱群體因應氣候變遷衝擊之能力；同條第 9 款，融入綜合性與以社區及原住民族為本之氣候變遷

調適政策及措施。

此外，公平及正義是 IPCC AR6 中優先考慮事項，因此傳統被邊緣化的脆弱群體需納入考量。運輸系統是社會維生系統的一環，因此必須以社區為本評估使用該系統的脆弱族群，在原住民保留區也應特別以原住民族為本評估其脆弱度與需求。此外，參考「交通貧窮指標」從交通負擔能力、流動性貧困、無障礙貧困等面向評估該運輸系統的脆弱族群，評估調適需求。

5. 納入自然為本解決方案

2022 年 3 月 2 日聯合國環境大會通過 14 項決議，其中決議 5 支持可永續發展的自然為本解決方案（Nature-based solutions, NbS），對於 NbS 的發展，有幾點值得關切事項：

(1) 承認需要對 NbS 這一概念作出經多邊協商的定義，該定義要認識到基於生態系統的辦法的概念並與之保持一致，且考慮到對 NbS 這一概念可能被濫用的關切。

(2) NbS 就是採取行動保護、養護、恢復、永續利用和管理自然或經改造的陸地、淡水、沿海和海洋生態系統。

(3) 責由聯合國環境規劃署根據現有的最佳科學知識，彙編 NbS 的最佳做法實例。

(4) 在設計、執行和監測 NbS 時，採取國家主導、顧及性別平等、參與性和完全透明的辦法。

但由於聯合國同時認為還需要對 NbS 這一概念作出經多邊協商的定義，因此在目前階段建議優先介紹 NbS 的理念。

另外，參考美國運輸部聯邦公路管理局（Federal Highway Administration, FHWA）2023 年「運輸資產管理對氣候變遷和極端天氣的韌性能力」報告[37]所涵蓋的事項，反向對照我國調適策略措施發現，我國調適策略有 2 個部分尚未涵蓋，建議可在未來研議納入：

(1) 設定復原力目標、措施和具體目標。

(2) 制定韌性的投資策略和財務計畫。

接下來，本計畫針對以上分析歸納結果，提出策略措施的調整內容，並輔以適當案例說明。在列出草案後，並透過訪談運輸管理機關（構）及

諮詢專家學者蒐集意見回饋，完成調適策略滾動檢討，3.5 節綜理運輸系統調適策略與措施。

3.3 實務應用案例資料蒐集

本節先說明國內外相關運輸系統策略與措施實務應用案例蒐集之內容，於下一節將說明國外調適策略措施之規劃或執行案例，並以國內相關實施之經驗為主軸進行歸納研析。

國外運輸系統策略與措施案例蒐集的來源包括：歐盟氣候變遷調適平台（Climate-ADAPT）、聯合國氣候變化綱要公約秘書處、美國環境保護署等。為便於資料查閱、引用及整合分析，將所蒐集到之相關案例條列，並以表單資料之形式分類建檔。由於相關案例子計畫數量眾多，並涉及多個轄屬機關，執行辦理時間可能長達 5 年（以上），可透過關鍵字搜尋功能，以利快速取得相關參考應用案例。

本計畫回顧歐盟案例平台資料庫欄位，計有：標籤（label）、發布日期（Date of publication）、形式（Type of Item）、調適領域（Adaptation Sectors）、氣候衝擊（Climate Impacts）、跨境區域（Transnational regions）、調適因子（Adaptation Elements）、執行國家（Countries）、協力單位（Item from third parties）、年份（Year）、網址（url）、說明（Long Description）、座標（Coordinates）、經費（Costs）、執行調適選項（Implemented Adaptation option）、領導單位 Lead、網域平台 Websites、參考文獻（Reference）、生態圈（Biographical regions）、健康效應（Health Impacts）、觀測項目（Include in observatory）、特殊關鍵字標籤（Special Tags）等。

經本計畫評估後，調整欄位將資料建立屬性分類以便於篩選參考，資料庫欄位包括：計畫名稱、計畫描述、是否為國家調適計畫、成果發佈日期、調適措施（運輸系統調適 15 項措施）、計畫種類、執行單位、氣候變遷因子、受影響運輸系統、受損單元、調適元素、執行方向、連結網址、其他，範例如表 3.1-1 所示。

本計畫主要以歐盟氣候變遷調適平台（Climate-ADAPT）做為入口網站，蒐集具體實務應用案例進行資料彙整，並研析與運輸系統相關之實務應用案例，共計 225 項（如圖 3.3.1、圖 3.3.2），案例種類包括：調適方法、

案例分析、指引、調適資訊平台、文獻與報告、研究專案、工具，應用案例多為歐盟各國文獻與報告。運輸系統所面臨之氣候變遷影響包括：乾旱、極端溫度、水災、海平面上升、暴風雨。其涵蓋之調適元素包括：調適措施、調適計畫與策略、氣候服務、調適韌性、自然為本解決方案、觀測與氣候情境、部門政策、脆弱度評估。

表 3.3-1 本計畫運輸系統實務應用案例資料庫範例

預定建置欄位	選單內容	範例（國內）	範例（歐盟）	範例（歐盟）
計畫名稱	自由填寫	公路系統規劃階段強化調適能力之探討(1/2)	Will river floods 'tip' European road networks? A robustness assessment	Climate proofed standards for road design, construction and maintenance
計畫描述	自由填寫	檢討我國運輸系統調適策略、提出強化建議、辦理教育訓練	利用滲流理論評估歐盟國家道路對淹水的耐受度	公路設計、建設、維護指引
是否為國家調適計畫	是/否	否	否（文獻）	否
成果發佈日期（西元年）	年/月/日	2022 年 3 月	2022 年	2019 年
調適措施(15 項)	1-1 建立設施安全性、與風險評估方法、1-2 迴避高風險潛勢地區持續受損點位改、廢線	4-1 建立調適計畫投資決策評估方法	1-1 建立設施安全性、與風險評估方法	1-3 檢討並將氣候調適概念納入規範或作業程序
計畫種類(案例分析、指標、指引、調適科學研究資訊)	案例分析/指標/指引/調適科學研究資訊/其他（自由填寫）	案例分析、指引	調適科學研究資訊	公路設計、建設、維護指引
執行單位	自由填寫	交通部運輸研究所	學術論文	-
氣候變遷因子	高溫/乾旱/強降雨/極端天氣尺度或頻率增加/海平面上升/強風/颱風/暴潮/其他	高溫、海平面上升、強降雨、強風、颱風、暴潮	淹水	極端溫度、淹水、暴風雪、風暴
受影響運輸系統	公路/鐵路/海運/空運	公路	公路	公路
受損單元	人員健康/人員安全/鋪面/路基/運輸設備/邊坡/電力設施/車站/….	-	公路系統癱瘓	公路系統癱瘓
調適元素(科學研究、政策、降低脆弱度、氣候服務)	科學研究/政策/降低脆弱度/氣候服務	科學研究、氣候服務	科學研究	降低脆弱度
執行方向(預警系統、監測、建造)能力建構七大面向	自由填寫	提供公路規劃調適能力強化機制與方法	建立科學研究方法，評估公路淹水脆弱度並提升公路氣候韌性	提供道路設計、建設、維護指引以降低道路脆弱度、提升氣候韌性
連結網址	自由填寫	https://www.iot.gov.tw/cp-78-209123-a889f-1.html	https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/publications/will-river-floods-2018tip2019-european-road-networks-a-robustness-assessment	https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/adaptation-options/climate-proofed-standards-for-road-design-construction-and-maintenance

資料來源：本計畫整理。

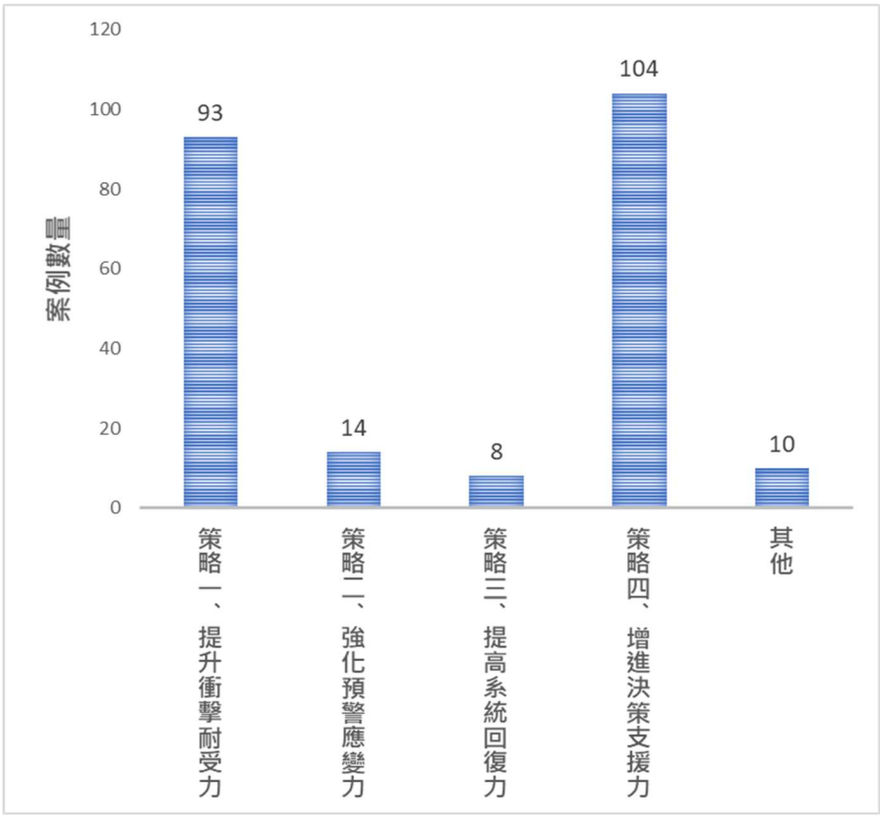
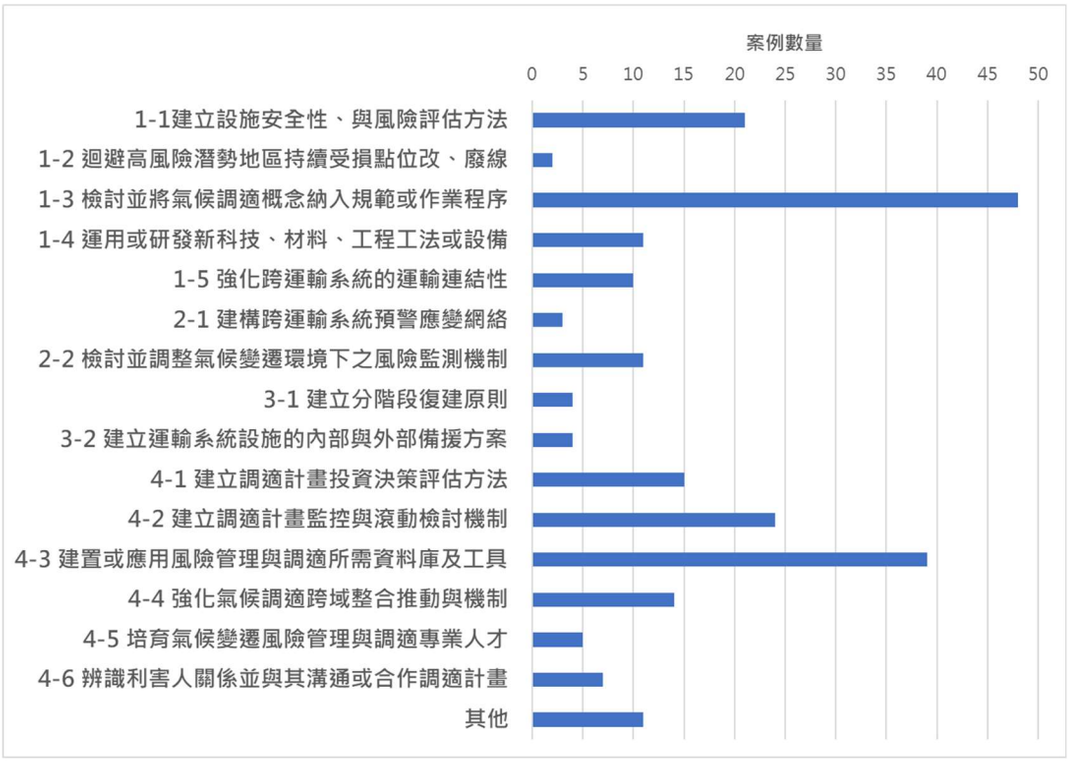


圖 3.3.1 運輸系統實務應用案例數量分布



資料來源：歐盟氣候變遷調適平台，本計畫整理。

圖 3.3.2 運輸系統實務應用案例措施種類及數量

國內歷年調適措施案例部分，概括而論，我國氣候變遷調適工作起步並不算太晚，國家調適計畫第一期於 102 年即開始啟動，甚至更早於 104 年溫室氣體管理法之實施。第一期計畫啟動後 10 年間，交通運輸部門並不乏因應天氣災害衝擊之具體防災措施，惟其中策略與措施與氣候變遷調適間連接性較為模糊，多以過去天氣災害統計經驗做為災害風險評估的依據，而非以氣候變遷調適的情境做為基礎。而第三期（112-115 年）國家行動計畫強調：氣候變遷調適不僅止於實體工程或策略展開，針對議題進行風險評估工作，本屬於氣候變遷調適工作中相當重要之一部分。因此各領域調適行動計畫先期即導入風險評估或風險管理的概念，特別針對風險進行因應及管理。運輸系統在氣候變遷下的調適是維生基礎領域裡不可或缺的一塊，綜合考慮路面設施改善、邊坡、橋梁、隧道、道路系統改善、交通管理優化，以及交通系統維護和檢測等方面，以確保運輸系統的穩定運行和安全性，提升維生基礎設施因應氣候變遷之調適能力。納入氣候變遷風險評估之相關計畫說明如下：

1. 交通部鐵道局於 113 年排入「高鐵延伸屏東計畫氣候風險評估」，評估高鐵延伸屏東計畫在未來可能面臨的氣候變遷風險，如颱風、豪雨等極端天氣事件，對地區的影響。並針對風險評估結果，提出相對應的調適策略，以確保計畫的永續發展及風險管理。氣候變遷可能會對交通運輸系統造成重大衝擊，例如道路淹水、山區崩塌等。該計畫在高鐵延伸屏東計畫綜合規劃及環境影響評估審查階段界定氣候風險及制定因應作為，以確保交通系統的可靠性、安全性及永續發展。
2. 交通部公路局於 112-115 年排入的「西濱快速公路曾文溪橋段新建工程」計畫，充分評估氣候變遷可能帶來的災害，橋梁採長跨距配置以減少河中立墩，以避免因強降雨沖刷河床造成橋梁基礎裸露。
3. 交通部民航局於 112-115 年排入「民用航空局所屬航空站氣候變遷調適能力推動計畫」蒐集極端航空氣象資訊，掌握天然災害發生情形；檢視航空站設施因應極端氣候（至少包括強降雨及高溫）之耐受力，如排水系統；盤點航空站相關設施設計工程規範、維運程序及規範；建立風險辨識計畫；評估是否加強風險預警作業等措施，增進運輸系統決策力與支援力。

3.4 運輸系統調適策略措施檢討及具體實務應用案例

本節逐一說明運輸系統調適策略措施具體內容，藉由文獻探討提出策略措施調整方案，並針對 15 項措施分別選取適當案例說明其在氣候變遷調適的思考，以增加讀者理解。

3.4.1 策略一：提升衝擊耐受力

措施 1-1：建立設施安全性與風險評估方法

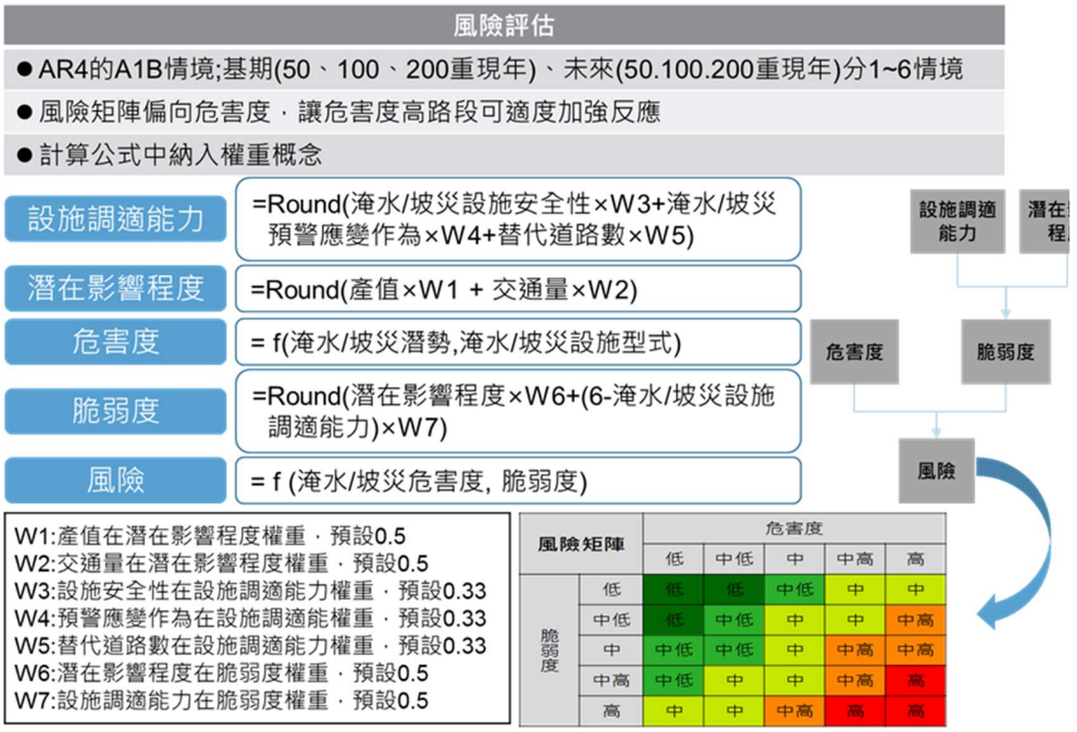
交通運輸設施在進行設施新建、改善與強化前，須先掌握設施的安全狀態，因此設施安全性往往也是風險評估過程中所需的重要指標。當前各系統運輸管理機關（構）大多會針對既有重要設施進行定期或不定期的安全性檢視及管理，但檢測標準與方法各不相同，並非所有機關（構）均已設定明確的設施安全性標準及評估方法。

考量氣候變遷威脅日增，為確保設施在氣候變遷衝擊下的安全性，建議應針對因天氣事件影響而無法正常營運之虞的設施，例如：邊坡、橋梁、跑道、防波堤等，建立安全性標準與風險評估方法；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，特別是納入考量氣候變遷情境下的極端天氣/氣候事件或海平面上生的衝擊等，以幫助管理者安排採取調適行動的區位優先順序。

另外，建議各運輸系統之設施均應建立個別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）未來可擴大考量氣候變遷情境下極端天氣事件範疇，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，故建議運輸系統運輸管理機關（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：

1. 交通部運輸研究所，鐵公路氣候變遷調適行動方案之研究，107 年。
2. 交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110 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 年發布的 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。

聯合國貿易和發展會議中指出，沿海運輸基礎設施的風險評估由多個部分組成[38]，包括氣候變遷引發的氣候災害評估、交通基礎設施是否位於危險區域，並針對易受到沿海災害損害和損失的資產和系統進行脆弱度評估。在風險評估的基礎上，可以確定氣候事件及其影響的嚴重程度，並根據緊迫性安排調適措施優先順序。例如，希斯洛機場在其調適挑戰並提高韌性計畫報告中，建立風險評估方法，辨識出該機場在面臨最嚴峻氣候變遷的情境下，有多達 34 個短期與中長期的氣候風險對機場資產與營運產

生衝擊[39]。(詳見個案說明)

綜上，本項措施建議由運輸管理機關(構)執行，重點簡要歸納如下：

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。

海港氣候變遷調適以支持 2030 年永續發展議程[38]

聯合國貿易和發展會議提出之「海港氣候變遷調適以支持 2030 年永續發展議程」中指出，港口是重要的基礎設施，是連接全球供應網的關鍵，因此增強各國的港口氣候調適能力具有經濟重要性。沿海交通基礎設施的調適能力和復原力取決於對氣候變遷風險評估的掌握程度。氣候變遷風險評估取決於時空、尺度和分辨率，以及可用的資訊。全球和/或大陸範圍的評估有助於多國間建立調適政策和法規；區域性和國家範圍的評估則有助於發展當地和國家的調適政策和法規。沿海運輸基礎設施的風險評估由多個部分組成：氣候變遷引發的氣候災害評估、交通基礎設施是否位於危險區域，並針對易受到沿海災害損害和損失的資產和系統進行脆弱度評估。在風險評估的基礎上，可以確定氣候事件及其影響的嚴重程度，並根據緊迫性安排調適措施優先順序。

希斯洛機場的調適挑戰並提高韌性計畫[39]

希斯洛機場應英國政府要求提交之氣候變遷調適報告中指出，該機場面臨之氣候變遷風險包含降雨、洪水、溫度異常、濃霧和劇烈風向變化等（表 3.4-1），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，並就運輸量能進行調整，以因應氣候的影響。其提出之氣候變遷調適行動包括：建立監測系統、氣候模型、氣象預報系統（包括氣候調適風險分析矩陣）和預警系統（並持續進行定期監測）以提高希斯洛機場氣候變遷調適能力。

表 3.4-1 希斯洛機場氣候變遷風險

氣候變數		英格蘭東南部長期氣候預測摘要	不確定性程度	希斯洛機場受到之影響
1	高溫	夏、秋兩季高溫	高	過熱
2	高降水量	春、夏、秋季降雨頻率降低但強度增加 冬季降雨頻率及強度增加	高	淹水
3	低溫/下雪	暖冬及降雪減少	中	寒冷的天氣
4	低降水量	夏季降雨減少	中	缺水
5	霧	春、夏、秋起霧天數減少 冬季起霧天數增加	低	能見度低
6	風	增加風速及風向不確定性 增加頻率及低壓風暴的嚴重程度	低	強逆風和側風
7	暴風雨/閃電	秋季頻率增加	低	閃電及暴風雨

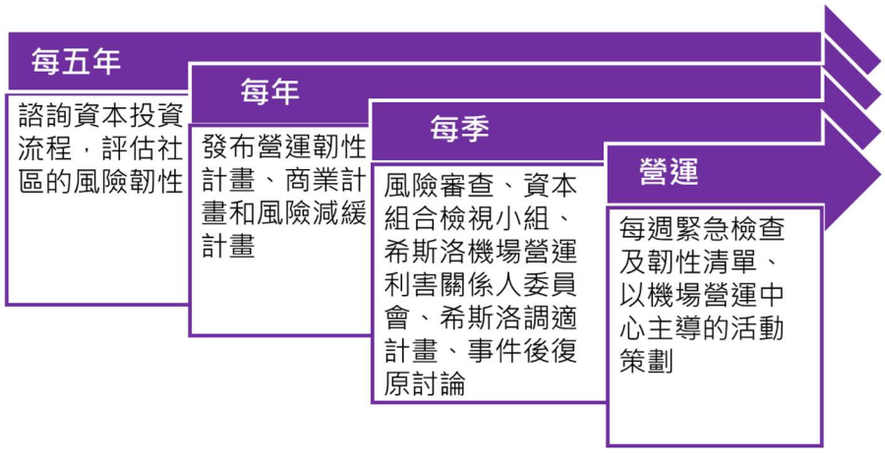
資料來源：Assessing adaptation challenges and increasing resilience at Heathrow airport, 2016.

因應風向的改變，機場導入以時間為基準區間措施，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，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、國家航空交通服務控股公司、希靈登倫敦自治市、倫敦交通局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希斯洛機場管理氣候風險造成的影響。

希斯洛機場韌性措施的實施分為短、中、長期，分別以季、年、五年為單位執行措施（圖 3.4.2）。以五年為期的韌性措施包含諮詢資本投資流程，評估社區的風險韌性；以一年為期的措施包含發布營運韌性計畫、商業計畫和風險減緩計畫；以一季為期的措施包含風險審查、資本組合檢視小組、希斯洛機場營運利害關係人委員會、希斯洛調適計畫、事件後復原討論，並在營運上規劃每週緊急檢查和韌性清單和以機場營運中心主導的活動策劃。

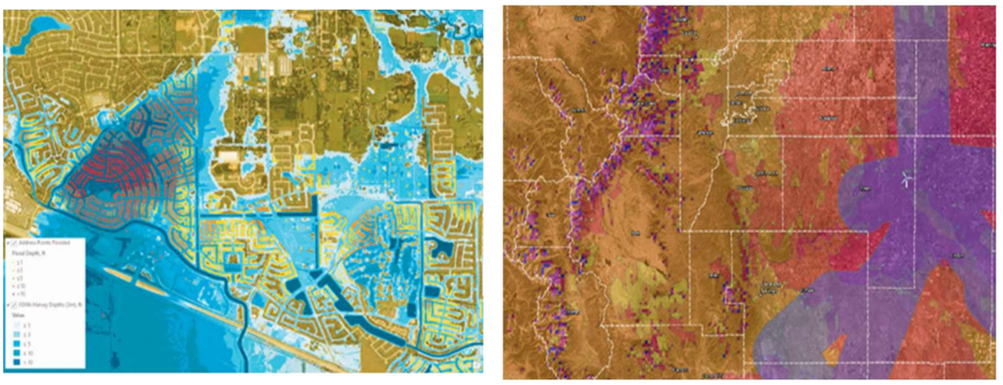


資料來源：Assessing adaptation challenges and increasing resilience at Heathrow airport, 2016.

圖 3.4.2 希斯洛機場韌性措施目標

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，則其所能承受極端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（圖 3.4.2），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：交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110年。

圖 3.4.3 GIS 選址分析示意圖

過去各機關所使用之氣候情境來源不一，包括有 IPCC AR4、IPCC AR5、臺灣氣候變遷科學報告等來源，或使用不同的氣候情境基礎進行之風險評估與政策思考，將難以彼此間衡量或整合。第三期國家調適行動計畫由中央主管機關協同中央科技主管機關、氣象主管機關，共同針對國家共通性長期氣候變遷科學議題及情境，進行研析及發布，供所有調適工作相關機關做為引據或參考。運輸管理機關（構）宜使用「國家調適應用情境」設定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自然為本解決方案，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。

由於國內案例主要是以過去歷史極端天氣事件進行設施迴避高風險潛勢地區考量，如台 9 線蘇花改計畫及臺鐵截彎取直計畫，尚未以未來氣候情境進行評估，建議未來國內相關計畫可加強此部分。

而在國外案例的英國鐵路埃克塞特以西路線韌性研究（West of Exeter Route Resilience Study）[40]中，2013 年末及 2014 年初冬季，英國受到異常

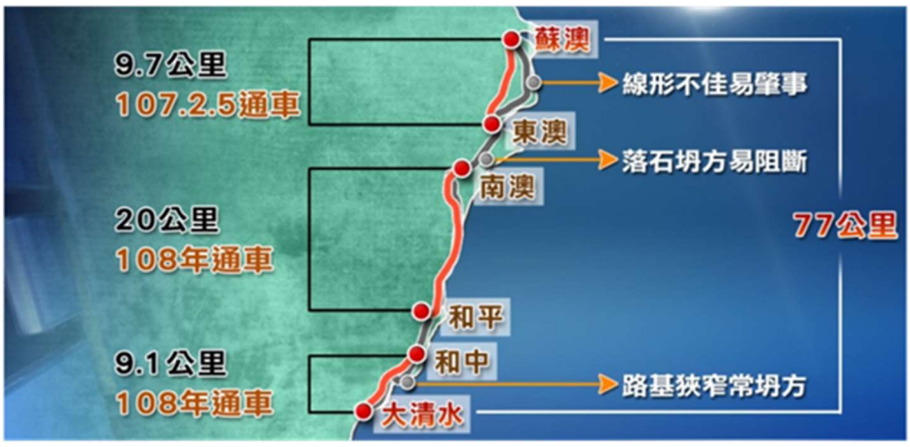
天氣影響，冬季風暴導致嚴重的海岸破壞和大規模持續洪水，使得英國西南部鐵路與英國鐵路網中斷兩個月，直到 2014 年 4 月才得以重新開放。隨著道軌道修復工作的進展，英國成立一個工作小組審查沿海運輸路線的長期策略。該計畫依據海平面上升、旅客需求、對社區的影響，以及環境、社會和經濟因素都被納入考慮，並從成本效益的角度評估了 5 種選擇，包括保留當前線路或基線方案、強化既有鐵路線及 3 個新路線的替代方案(詳見案例說明)。

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)。本項措施建議由運輸管理機關(構)執行，重點簡要歸納如下：

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。

台 9 線蘇花改計畫

公路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 3.4.4 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，改善沿線 3 處未改善路段，包括宜蘭東澳至南澳段、花蓮和平至和中段及和仁至崇德段，總長約 30 公里。

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，且將彎道之曲率半徑（R）調整到 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 公里行駛。



資料來源：

1. 臺鐵公司，108 年。
2. 交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110 年。

圖 3.4.5 臺鐵猴硐至雙溪改線計畫

龜山站至外澳站間 3 處彎道曲率半徑小於 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。新建彎道為曲率半徑達 1,000 公尺的長隧道。

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：

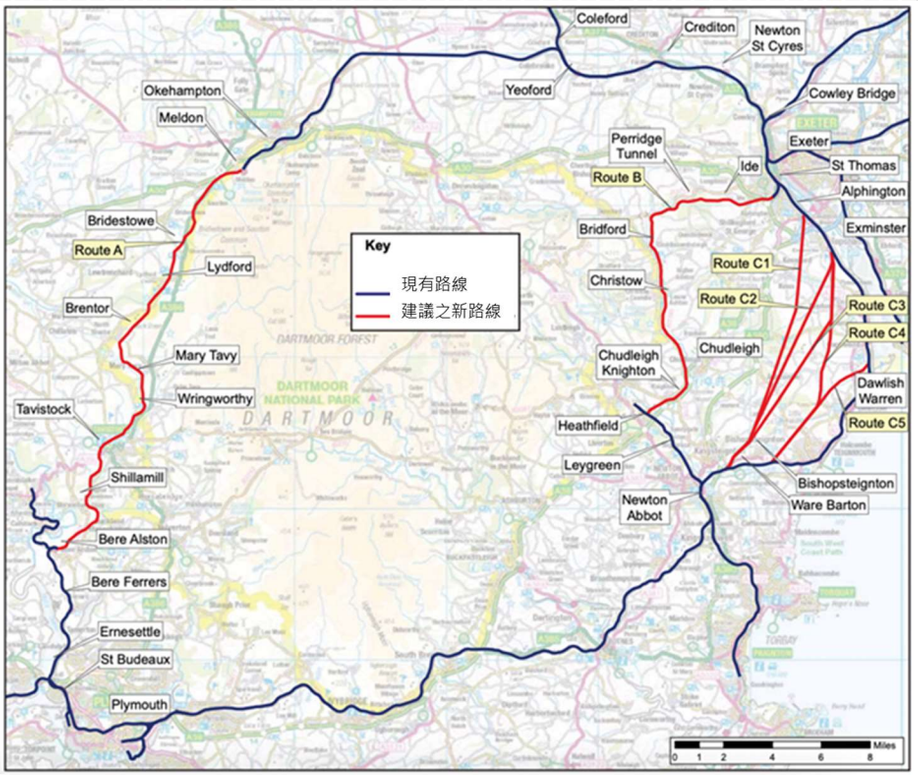
1. 臺鐵公司，108 年。
2. 交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110 年。

西埃克塞特路線韌性研究[40]

本研究針對位於英國埃克塞特以西地區的鐵路路線進行研究，為提高該路線在面臨不同災害和極端天氣事件時的韌性。2013 年末及 2014 年初冬季風暴對英國的基礎設施造成嚴重影響，導致嚴重沿海設施損害和洪水事件，在此期間，交通系統是受影響最嚴重的基礎設施之一。其中最具代表性的事件是 2014 年 2 月 4 日至 5 日的風暴期間對德文郡（Dawlish）沿海的南西主線鐵路造成的嚴重損害，以及隨後在 2 月 14 日至 15 日的另一場風暴中造成損害擴大。這一事件導致英國西南部的鐵路與英國鐵路網的其他部分中斷兩個月，最終於 4 月 4 日重新開放。

在 2014 年 3 月，隨著對德文郡線的修復工程進展，專門任務組亦隨之成立，以檢討沿海路線的長期戰略，此任務組由鐵道網絡領導，成員包含：英國運輸部、環境署、當地客運和貨運列車營運商，以及地方政府組織。

該研究包含海平面上升預測、乘客需求、對社區和環境、社會和經濟因素的影響，以及加強檢查防浪牆工程。並以成本效益的角度評估 5 種戰略選項，包含：保留當前鐵路線或基準情境、加強當前鐵路線，以及 3 種新鐵路線的替代佈局（圖 3.4.6）。



資料來源：West of Exeter Route Resilience Study, 2014.

圖 3.4.6 西埃克塞特路線替代方案

措施 1-3：檢討並將氣候調適概念納入規範或作業程序

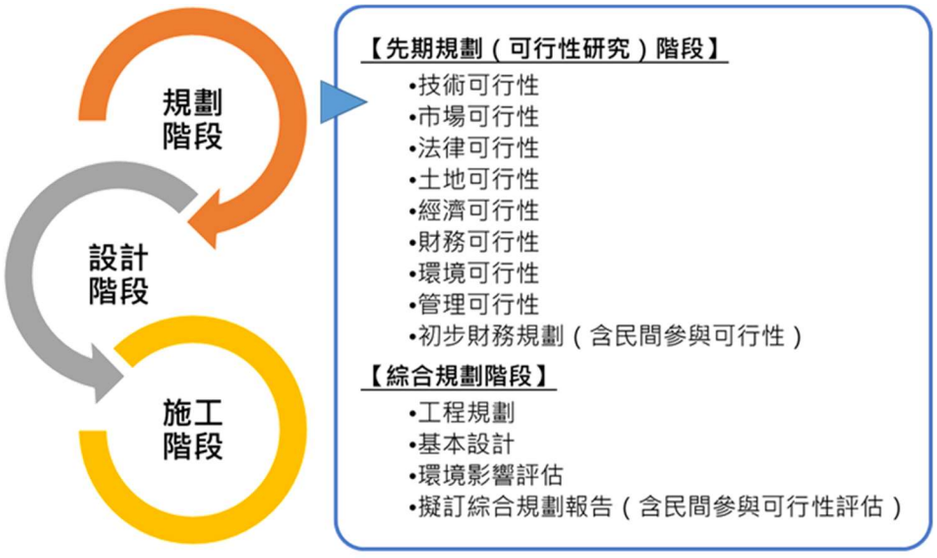
鑑於氣候變遷導致極端降雨、熱浪、強烈熱帶氣旋活動發生頻率與強度遽增，而既有運輸系統設施之相關規範與作業流程普遍尚未將氣候變遷因素納入考量，在此情況下，設施於未來恐將不足以抵擋極端天氣事件所帶來的衝擊，故有必要重新審視與檢討規劃、設計、施工，以及養護相關規範與作業流程，將氣候變遷與調適的概念納入，提升系統在氣候變遷環境下的耐受力（圖 3.4.7）。

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。



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，107年2月修正版。
2.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），97年10月。
3.交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110年。

圖 3.4.7 公共建設計畫辦理程序

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。法國將調適納入運輸設施設計、維護與營運規範，首先進行運輸設施的設計、維護與營運規範的系統性檢討與更新。新的規範是以 2100 年的預測氣候情境做為考量的基礎，以提高運輸系統設施與系統在面臨極端事件的韌性，特別是針對較長壽年之運輸設施。

在沿海公路自然基礎解決方案實施指南[41]提到自然基礎解決方案可以做為降低氣候變遷衝擊的第一道防線。減緩災害對沿海公路衝擊之調適方法可以包含基於自然的解方、結構性強化方法及混合解決方案。建議更多可收集各國有關自然為本調適在交通規劃和建設方面的最新研究和案例，彙整相關的法規和國際標準，探討更多可行的自然為本解決方案，如綠化交通設施、生態通道的建設等，考慮如何納入作業程序，以提高環境的天然耐受力。

綜上，本項措施重點與建議執行單位簡要歸納如下：

1. 運輸管理機關（構）依氣候變遷情境所致風險潛勢之分析與模擬結果進行下列工作：
   (1) 了解自然為本理念，包括自然為本解決方案之準則、應用及限制。
   (2) 檢討並提高設施抗氣候變遷環境標準。
   (3) 風險分析及氣候變遷模擬結果納入規劃、設計、施工，以及養護相關規範、作業流程或手冊中考量。
2. 交通部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，以做為可行性評估與綜合規劃階段審查的標準。

法國將調適納入運輸設施設計、維護與營運規範

法國生態部要求 Cerema 研究中心於 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，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運輸管理機關（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、航運與港埠，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、長焊鋼軌鋪設等。

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。

沿海公路自然為本解決方案實施指南 [41]

本指南提供了有關歐洲處理氣候變遷調適的指導。適用於產品（受氣候變遷影響的產品）設計、服務、基礎設施和測試標準。指南的目的為幫助工作人員規劃相關調適制度，使他們能夠確定相關的氣候影響，並在新的或修訂的標準文件中納入氣候變遷調適精神。其中亦提到自然為本解決方案可以作為降低氣候變遷衝擊的第一道防線，並提高沿海公路的抗災能力。聯邦公路管理局編制的「沿海公路自然為本解決方案實施指南」有助於運輸專業人員了解適當的地點、時機，以及哪些自然為本解決方案有助於調適行動，且適用於計劃階段到建設和維護的整個項目實施過程。

減緩災害對沿海公路衝擊之調適方法包含：基於自然解方、結構性強化方法及混合解決方案，不同的調適方法主要取決兩個關鍵因素：1.適合該地區基於自然為本解決方案的類型（例如：海灘或濕地）；2.透過項目實施減輕的基礎設施脆弱性或風險。為幫助管理單位了解不同類型沿海地區適用的解決方案，以下表格列出常見的沿海災害、相關的交通設施類型，以及可能的管理策略的代表性示例（基於自然的解方、結構性強化方法和混合解決方案）。

表 3.4-3 氣候變遷風險及相應自然為本解決方案

氣候議題	受影響之系統	自然解方	結構強化	混和方案（可能案例）
滋擾性洪水	道路 堤道 排水道	沙丘 護堤	加高 隔板 海堤 防洪屏障	沙丘+隔板/海堤/防洪屏障 護堤+隔板/海堤/防洪屏障
暴雨性洪水	道路 堤道 橋梁 隧道 排水道	沙灘 沙丘 海岸林 沼澤 紅樹林	加高 隔板 海堤 防洪屏障	沙灘+沙丘+海堤/屏障 沼澤/紅樹林+海堤/屏障
波浪溯升 波浪越波	道路 堤道 隧道	沙丘 沼澤 紅樹林 珊瑚礁	加高 護岸 防洪屏障 防波堤 地檻	沙丘+海堤/屏障 沼澤/紅樹林+護岸 沼澤/紅樹林+地檻 沼澤/紅樹林+珊瑚礁/防波堤
波浪力	橋梁 護岸	沼澤 紅樹林 珊瑚礁	加高 防波堤	沙灘+沙丘+珊瑚礁/防波堤 沼澤/紅樹林+珊瑚礁/防波堤
侵蝕	道路 堤道 橋梁	沙丘 沼澤 紅樹林 珊瑚礁	護岸 防護鋼板 地檻	沙丘+植被 沼澤/紅樹林+地檻 沼澤/紅樹林+護岸
海岸線倒退	道路 橋梁	沙灘 沼澤 紅樹林 珊瑚礁	隔板 海堤 護岸 防洪屏障	沙灘+珊瑚礁/防波堤 沼澤/紅樹林+珊瑚礁/防波堤 沙灘+護岸/護牆 沼澤/紅樹林+護岸/護牆

資料來源：Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: An Implementation Guide, 2019.

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。

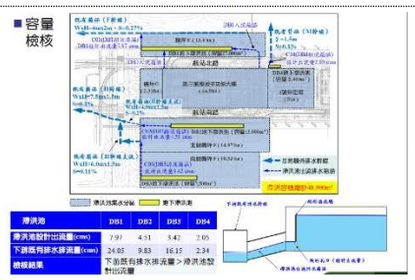
例如，運輸系統在針對強降雨所致之淹水可透過設置防洪設施，如蓄洪或滯洪空間、透水保水設施（圖 3.4.8）等方式強化抗淹能力及預防淹水衝擊。



愛蘭交流道生態池



美國加州道路中央分隔島導入低衝擊開發設施

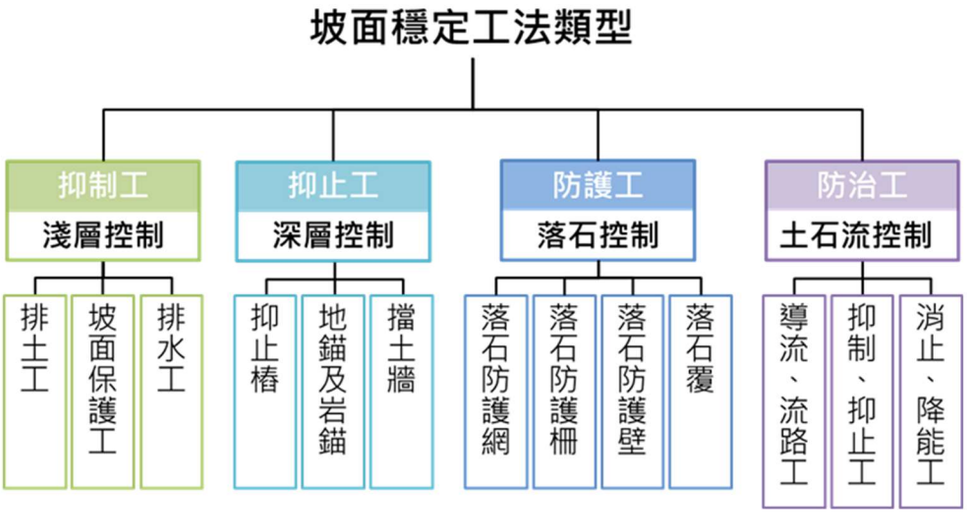


桃園機場第三航廈蓄洪池設計

資料來源：1.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），105 年。

2.交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110 年。

圖 3.4.8 防洪設施示意圖



資料來源：1. 吳明淏，坡地災害及其防救，107 年。

2. 交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110 年。

圖 3.4.9 坡面穩定工法類型

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 3.4.9）。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（目前已應用在五楊高架、國道 6 號、南迴改），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[42]。

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（圖 3.4.10）。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：交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110 年。

圖 3.4.10 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。我國金門尚義機場海側護岸堤防設施工程，根據 50 年迴歸期波浪條件下溢流量不超過容許溢流量標準，修建機場海側護岸堤防設施，保護機場跑道飛航安全，提升機場設施之安全，延長機場使用年限。

以下簡要條列在本計畫界定之氣候壓力（climate stressors）下，應設法提升的衝擊耐受力，供運輸管理機關（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。

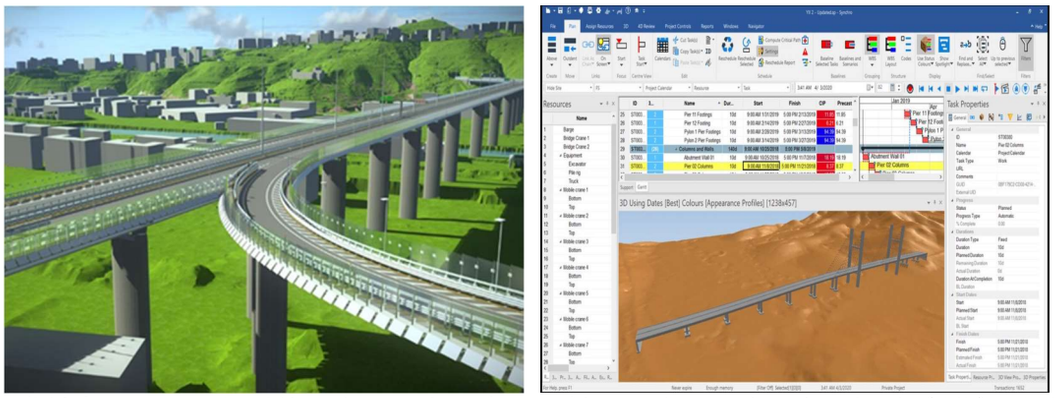
7. 機場及商港設施承受強風或雨水衝擊之能力。

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，應用模擬當前與未來的氣候變遷環境下的淹水狀況、防洪能力及新技術導入後的狀況，可做為決策支援並節省成本（圖 3.4.11）。



資料來源：交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110年。

圖 3.4.11 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. 運輸管理機關（構）

(1) 依氣候變遷情境所致風險之分析與模擬結果，並視資源與需要應用科技、材料、工程工法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。

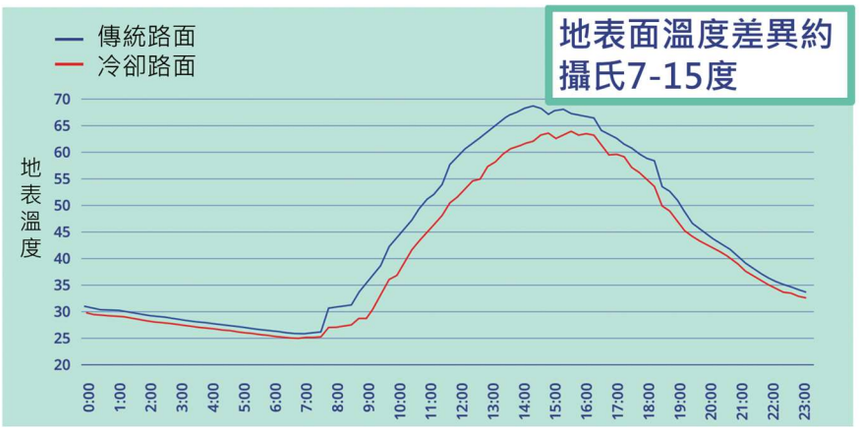
金門尚義機場海側護岸堤防設施工程

金門機場海側護岸侵蝕狀況加劇，機場跑道離海岸線已不足 150 公尺，不符合國際民航組織的規範。本計畫為因應氣候變遷導致海平面上升，保護機場跑道地帶不受大浪越堤之侵襲，健全金門尚義機場海側護岸堤防設施，根據 50 年迴歸期波浪條件下溢流量不超過容許溢流量標

準，完成金門尚義機場海岸線堤防設施共 1,868 公尺，保護機場跑道飛航安全，提升機場設施之安全，延長機場使用年限。另一方面，金門機場處海灣，近年砂源減少。本計畫海側護岸可保護機場跑道地帶不受侵蝕，達減少國土流失之效益，亦保護金門海域生態及海岸地貌。

緩解城市熱島效應的創新路面解決方案[42]

在西班牙的示範計畫在西班牙穆爾西亞市執行，使用創新的道路表面建材，即使用石灰骨料、透明合成黏合劑及二氧化鈦和氧化鐵顏料，鋪設新建材之路面可以減輕都市熱島效應。並設置四種測量塔，包括路面溫度感應器、三個空氣溫度感應器、臭氧儀和照度儀。主要目標為：示範減輕都市熱島效應和降低當地溫度的有效技術（圖 3.4.12）；傳遞研究計畫經驗及知識，以促進並協助其他城市的學習及複製；提供其他城市區域安裝創新路面時的協助；評估新路面對減少空調、制冷設備和街道照明相關的能源消耗，以及其對減少噪音和空氣污染的貢獻；驗證所提出路面解決方案的社會經濟影響；開發數學模型以預測技術在不同城市區域的有效性；在數個歐洲城市應用該數學模型以評估技術在歐盟的可複製潛力；開發宣傳材料和活動，如報告、指南、網站、研討會和培訓課程。此計畫結果將有助於制定城市路面的新標準以適應氣候變遷。



資料來源：Innovative pavement solution for the mitigation of the urban heat island effect, 2018.

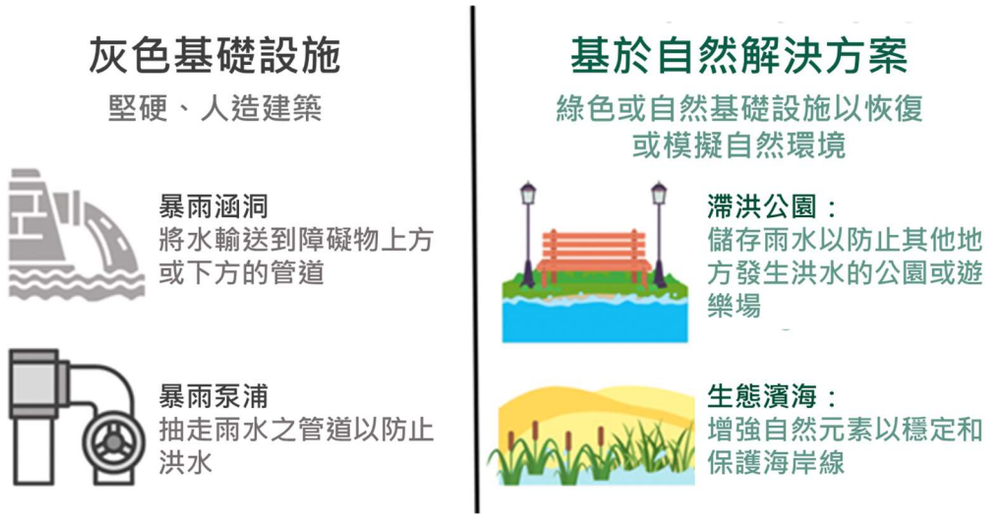
圖 3.4.12 新路面與傳統路面之日內溫度變化

長灘港氣候調適和沿海防災計畫

在美國港口氣候變遷減緩與調適[43]中提到全球 90%的貨物透過船舶運輸，港口中斷可能會波及全球經濟和供應鏈。因此，港口需要增強對氣候變遷的抵禦能力。其中針對長灘港的氣候調適和沿海防災計畫中指出，「氣候變遷和極端風暴持續影響南加州海岸。海平面將持續上升，極端風暴事件發生頻率和強度可能增加。港口及其租戶將經歷風暴等可能影響港口營運的氣候事件。」然而除長灘港外，所有港口都將更頻繁地面臨風暴和其他氣候（例如：海平面上升和極端高溫）的影響。

該計畫將海岸線和防洪分為灰色基礎設施和基於自然的解決方案兩種形式（圖 3.4.13）。灰色基礎設施是人造基礎設施，而基於自然的解決方案包括綠色和自然基礎設施。許多港口採用灰色基礎設施，包括波浪衰減設施，如：海堤以應對海平面上升、洪水和極端天氣造成的高強度波浪。在氣候調適和沿海恢復計畫中，長灘港亦設立數個以灰色基礎設施為重點的項目。

而研究顯示基於自然的基礎設施，例如：濕地、珊瑚礁、生態海岸線（利用天然材料，如：植物、岩石和沙子）、海岸沙丘和紅樹林，在降低港口氣候變遷影響之效益與灰色基礎設施一樣有效，甚至較灰色基礎設施更具調適能力。基於自然的解決方案亦能提供氣候變遷調適的功能、保護生物多樣性、改善水質，同時避免使用混凝土、水泥和鋼材等高碳材料。



資料來源：Climate Change Mitigation and Adaptation at U.S. Ports, 2022.

圖 3.4.13 港埠設施採灰色基礎設施與基於自然解決方案

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 3.4.14）。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，建議運輸管理機關（構）彼此間之連結性加以強化：

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



交流道聯絡道淹水



桃園機場對外聯絡道淹水



崇德車站及聯外道路土石流

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。
4.交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110 年。

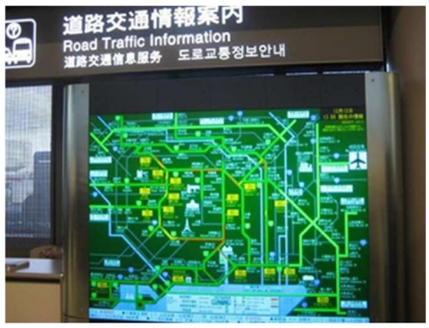
圖 3.4.14 運輸系統介面受天氣事件衝擊示意圖

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：1.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，103 年。
2.交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110 年。

圖 3.4.15 成田機場大廳設置鐵路、高速巴士等交通資訊

氣候變遷對運輸網絡和節點的影響及調適研究[44]

這份由聯合國歐洲經濟委員會（ECE）主導的報告分析氣候變遷對運輸網絡和節點的影響，並概述初步觀點和潛在風險領域。該報告還以案例研究形式呈現各國經驗及氣候變遷對運輸資產和營運的影響。

報告的第一章介紹了 ECE 地區的主要運輸網絡和節點，提供有關運輸網絡使用及評估結果，重點關注由氣候變遷影響引起的運輸網絡中斷可能對經濟產生的負面影響。第二章描述可能影響運輸基礎設施的數種氣候變遷因素現狀和未來發展。第三章探討未來氣候變遷和調適規劃間的相互聯繫，以實現更具韌性的運輸基礎設施和服務。第四章提供專家之經驗建議及對於制定規範的建議，並應以此做為內陸運輸基礎設施之氣候變遷調適工作基礎。

報告的分析包括各國調適工作經驗，案例研究中展示各國分析當前和未來氣候變遷對運輸系統的影響或測試運輸調適選項所開發和應用的方法和工具，概述氣候變遷對各種運輸基礎設施的影響，以及氣候變遷對運輸部門的經濟層面影響。

3.4.2 策略二：強化預警應變力

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，本項措施建議由運輸管理機關（構）執行，重點簡要歸納如下：

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。

中央氣象署樂活氣象 APP

中央氣象署與不同領域結合後，將進一步帶來人性化及個人化的服務。目前氣象署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：中央氣象署。

圖 3.4.16 中央氣象署樂活氣象 APP 說明圖

危機和災害管理系統和計畫[44]

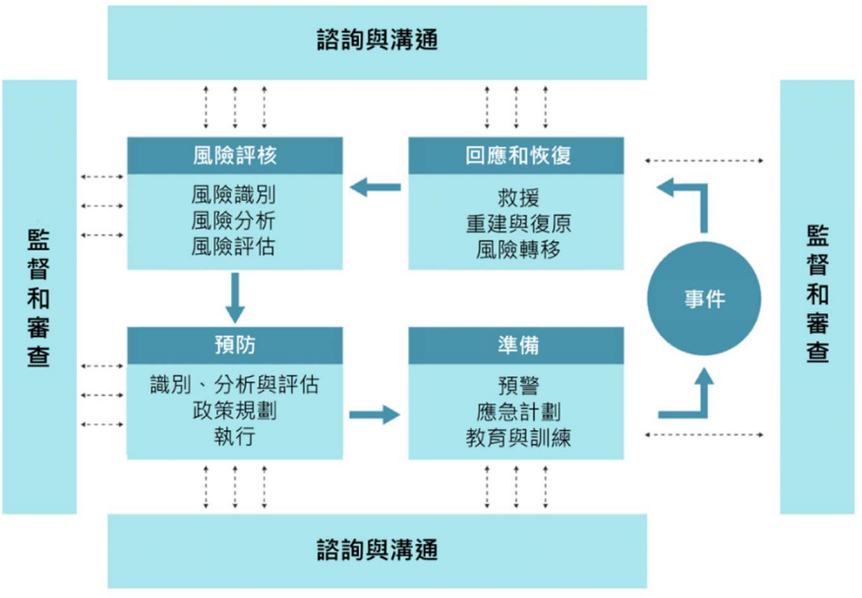
本計畫指出災害管理之四個階段包括預防、應變、應急和復原。

預防包括風險識別容易受不同強度和頻率自然危害影響的區域，以及實施調適措施。其中的調適措施旨在降低對自然危害的暴露和脆弱度，分為結構性措施和非結構性的措施：結構性措施包括物理建設和工程技術，如防洪工程（例如大壩或堤壩）或臨時洪水儲存區；非結構性措施包括政策和法律、公眾意識提高、培訓和教育，以及城市規劃和土地管理。

災害應變旨在建立政府應對組織、社區和個人有效應對緊急情況的能力。應變包括有效地預見和認識可能的危險（即預警系統）、設備和供應品的儲備、協調、疏散、公共信息、培訓和現場演習的安排及應對。應變計畫是制定戰略、安排和程序以應對潛在危機的人道需求之一。積極的應變計劃過程使個人、團隊、組織和社區能夠建立工作關係，在面對危機時可以產生關鍵性的影響。透過在應變計劃過程中合作，能夠建立對問題、彼此的能力、目標和組織要求的共同理解。

應急行動包括在災害發生前、期間或災害發生後立即採取的所有行動，以拯救生命、減少健康影響、確保公共安全並滿足受影響人民的基本生存需求。緊急應對也可能包括限制用水和供水配給。在 2008 年賽普勒斯和西班牙（巴塞羅那）的乾旱期間，緊急應對還包括從土耳其和法國運送水。在危機時，通常會將普通法規或通常法規疊加上緊急法規。例如，在 2003 年歐洲大範圍乾旱期間，由於冷卻發電廠所需的水短缺，超過 30 個核電廠被迫關閉或減少發電。

復原關注的是在緊急情況之後的處理。最終目標是恢復或改善受災社區或社會的生計和健康，以及經濟、物理、社會、文化和環境資產、系統和活動。恢復與永續發展原則一致，目標皆是為避免或減少未來災害風險。



資料來源：Crises and disaster management systems and plans, 2015.

圖 3.4.17 災害風險管理機制

措施 2-2：檢討並調整氣候變遷環境下之風險監測機制

風險監測為運輸管理機關（構）確保設施狀態與道路正常營運之重要作為。對天氣事件及其所致傷害的應變有賴相關的氣象及環境資訊（如：河川水情、橋梁安全、坡地環境等）做為支持，而相關資訊的取得則賴監測設施的設置。根據訪談，各運輸管理機關（構）目前均設有相關的監測設施，並在未來會針對監測設備不足的路段加密 CCTV（如高公局、臺鐵公司）。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署發布之觀測資訊，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）表示目前氣象署提供的資料較粗，影響預警應變的精度與速度。故運輸管理機關（構）可思考建置成本較低之微型氣象站，將蒐集之小尺度資料與氣象站之大尺度資料整合，以利掌握更細緻之氣候資料，輔助應變。

有鑑於在氣候變遷環境下，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 3.4.18）。

美國運輸部聯邦公路管理局（Federal Highway Administration , FHWA）2023 年「運輸資產管理對氣候變遷和極端天氣韌性能力」報告中第 10 章專章說明制定監測計畫來追蹤與極端天氣和氣候變遷相關的風險，足以代表風險監測機制為美國運輸部對風險監測之重視。

綜上，本項措施重點與建議執行單位簡要歸納如下：

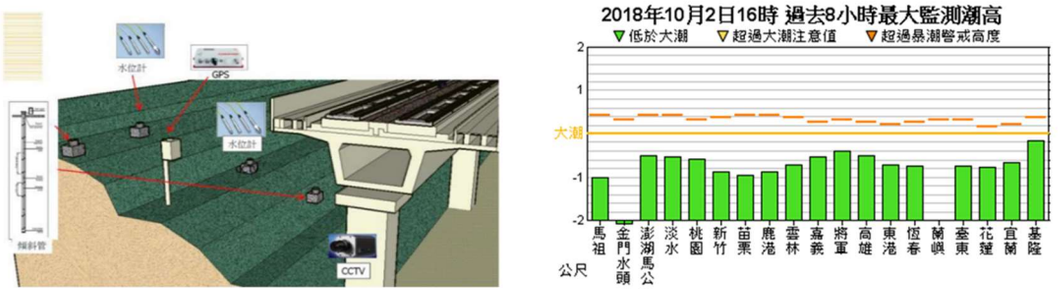
1. 運輸管理機關（構）

(1) 檢討及調整監測設施的設置點位與密度。

(2) 加強即時監測的涵蓋面。

(3) 思考應用微型氣象站蒐集之小尺度資訊結合氣候局之大尺度資料做數據的微調，以利更完善掌握設施周邊之氣候狀態。

2. 氣象署加強相關氣象資訊之提供。



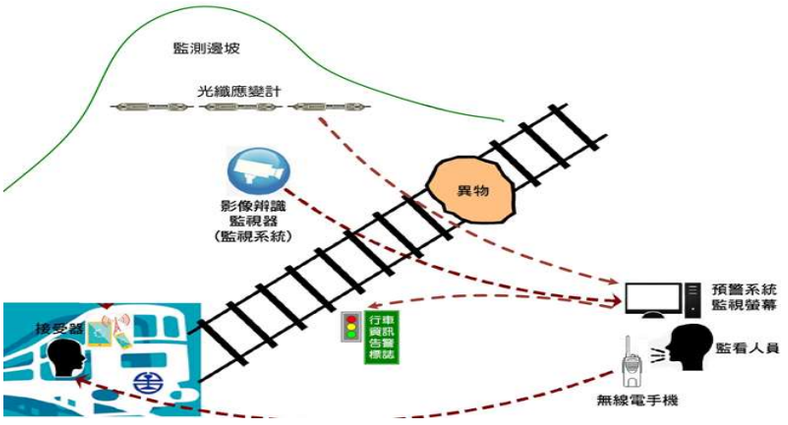
邊坡監測　　潮高監測

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），106 年。
2.右圖：交通部中央氣象署網頁，107 年。
3.交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110 年。

圖 3.4.18 風險監測設備與資訊示意圖

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，臺鐵公司「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；在受到地形限制無法採工程方式減災，則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。



資料來源：
1.臺鐵公司。
2.交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110 年。

圖 3.4.19 臺鐵邊坡自動化落石監測告警系統說明圖

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。

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。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。



資料來源：

1.高鐵公司。

2.交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110 年。

圖 3.4.20 台灣高鐵公司告警系統說明圖

德國 2021 年氣候影響與風險評估[45]

德國聯邦環境署領導，由 25 個聯邦機關參與進行德國氣候影響和風險評估。該評估涉及 102 個氣候影響和 13 個行動領域調查和評估。摘要報告呈現六個子報告的內容，涵蓋所有行動領域及整合評估，包括是否考慮調適措施的氣候風險整體評估和模擬，以及進一步研究的需求。該研究分析評估之行動領域包含：運輸、運輸基礎設施對於氣候變遷的影響、內陸水道可通行性（低水位）的調適能力。

專家得出結論如下，目前許多措施可能足以將氣候風險從高降低到中，透過更深入的調適措施，才有可能將氣候風險進一步降至低風險（參圖 3.4.21）。對於氣候變遷影響，內陸水道可通行性（低水位），被視為較為緊急的的行動需求，因為在最差的氣候情況下，其氣候風險在本世紀中葉被評為高風險，且許多措施可能需要相當長的時間執行（最多 50 年）。道路和鐵路損害/障礙、交通管制系統、架線和電力供應系統損害，也存在迫切的行動需求。

	不執行調適的氣候風險			有執行調適的氣候風險				
	現在	2031-2060		2020-2030	2031-2060			
		樂觀	悲觀		樂觀	悲觀	樂觀	悲觀
行動領域的氣候風險	低中	低	中	低	低	低中	低	低
在氣候影響層面進行調適與否的氣候風險								
內陸水道的適航性（低水位）	中	中	高	低	低	中	低	低

資料來源：Climate impact and risk assessment 2021 for Germany – Summary, 2021.

圖 3.4.21 運輸系統面臨之氣候風險程度

3.4.3 策略三：提高系統回復力

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，當未來極端天氣事件來襲，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，則不需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，供運輸管理機關（構）依循。

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



資料來源：1.https://read01.com/LdLP6aD.html#.W7MsWXszavE
2.交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110 年。

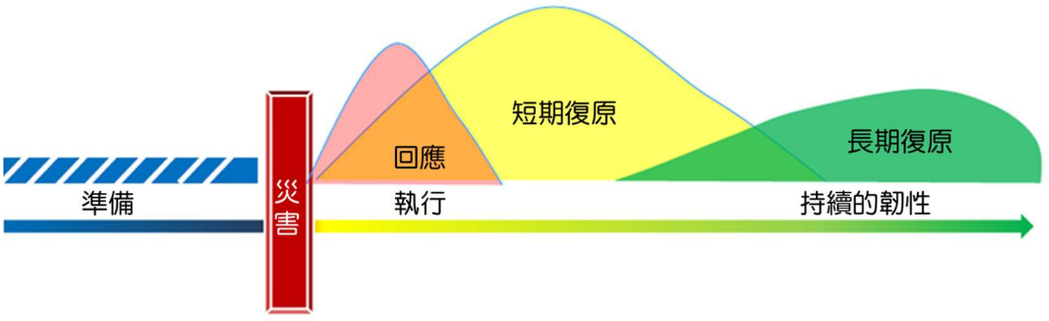
圖 3.4.22 衝擊後勘查之科技示意圖

根據美國運輸部聯邦公路管理局（Federal Highway Administration，FHWA）2023 年「運輸資產管理對氣候變遷和極端天氣的韌性能力」報告，在韌性考量下的強化緊急復原計劃時，強調事前規劃復原計畫的重要性，以便能夠承受未來的極端事件。透過將復原計畫從災難事件發生後移到災

難發生前建置（如圖 3.4.23），當基礎設施受損時，就有機會將韌性措施納入復建計畫，且越多的韌性資源就越能縮短復原時間，但從圖中仍涵蓋短期及長期復建工作，代表分階段復建原則仍然適用。

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. 運輸管理機關（構）蒐集資料掌握受損範圍回復狀態，決定復建期程與工法。



資料來源：FHWA, Addressing Resilience to Climate Change & Extreme Weather in Transportation Asset Management, 2023.

圖 3.4.23 災害發生前預先完成復原計畫

公路局運用無人機進行巡檢及勘災作業

公路局 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：

1. 中華民國交通部網站；交通部公路局。
2. 交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110 年。

圖 3.4.24 阿里山公路運用無人機進行巡檢及勘災作業

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。



資料來源：三立新聞網，https://www.setn.com/News.aspx?NewsID=979890。

圖 3.4.25 明霸克露橋短期架設便橋搶修

歐洲氣候變遷調適與降低災害風險[46]

2002 年夏天歐洲遭受強降雨導致強烈洪水，摧毀部分基礎設施並造成高達 120 億歐元的經濟損失。有鑑於此，德國當局提出解決方案如下：建議包括：一、加強空間規劃降低風險；二、必須根據其對洪水風險管理的重要性制定並權衡有效性評估措施；三、必須承認並接受自然保留的限制，以解決與減少洪水風險相關的「氣候保護」需求；四、防洪技術設備對於減少極端洪水至關重要，並使限制和風險透明化；五、應擴大針對特定危險和區域的預警系統，從收集資料和預報到受影響人員的反應；六、成功實施保護理念，必須實行全社會、全民參與的討論過程；七、洪水降低風險和應對洪澇災害是跨部門的任務，需要大量的溝通、合作和管理；八、應系統性地發展和促進私人預防措施，以及結構性、行為性和保險輔助的風險降低；九、在早期階段製定減少洪水風險的概念時必須考慮廣泛的政治利益；十、涵蓋整個河流流域並延伸至跨國的行動對於「預防性防洪」和減少預防性洪水風險至關重要。

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，或建造高架道路做為替代方案。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，此項工作除運輸管理機關（構）外也涉及運輸業者。

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。



蘇花公路中斷的海運備援



臺鐵中斷的客運備援

資料來源：1.臺鐵公司。
2.交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110年。

圖 3.4.26 鐵公路的跨運輸備援案例

綜上，本項措施重點與建議執行單位簡要歸納如下：

1. 運輸管理機關（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。

浮動或高架道路 [47]

本案例中指出易發生洪水的道路運輸基礎設施需要防洪措施，以減少洪水事件對運輸路線的潛在負面影響，並確保道路網絡的連通性必要時從洪水地區疏散。減少洪水負面影響的方式包括使用適當的設計和材料、結構保護措施（防洪屏障）和定期維護，其中，建造浮動道路和高架道路是一種替代方案。

浮動道路是漂浮在水面上或建在相對不穩定的基質上的道路。由於不利的自然條件而難以建造標準道路的地區，這些道路可以提供臨時和永久的解決方案。例如，蘇格蘭使用浮動道路使位於泥炭沼澤上的風電場區域得以通行。且可用於永久性或間歇性洪水地區，從而在災害風險管理和氣候變遷調適方面發揮作用。浮動道路比橋梁更靈活，也可以在非洪水原因（例如，道路堵塞）而導致道路堵塞時用作替代道路。此外，浮動道路比傳統道路佔用的空間更少，在技術方面，水上浮動道路可以置於浮動橋，隨水位變化移動，在不穩定的固體基質上，可使用兩層土工格柵作為道路結構。

3.4.4 策略四：增進決策支援力

措施 4-1：建立調適計畫投資決策評估方法

IPCC AR6 強調增加氣候融資提供充足的財政賦能條件（enabling conditions），可降低調適的限制；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，合適的投資在調適計畫能避免更大的損失。一般來說，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

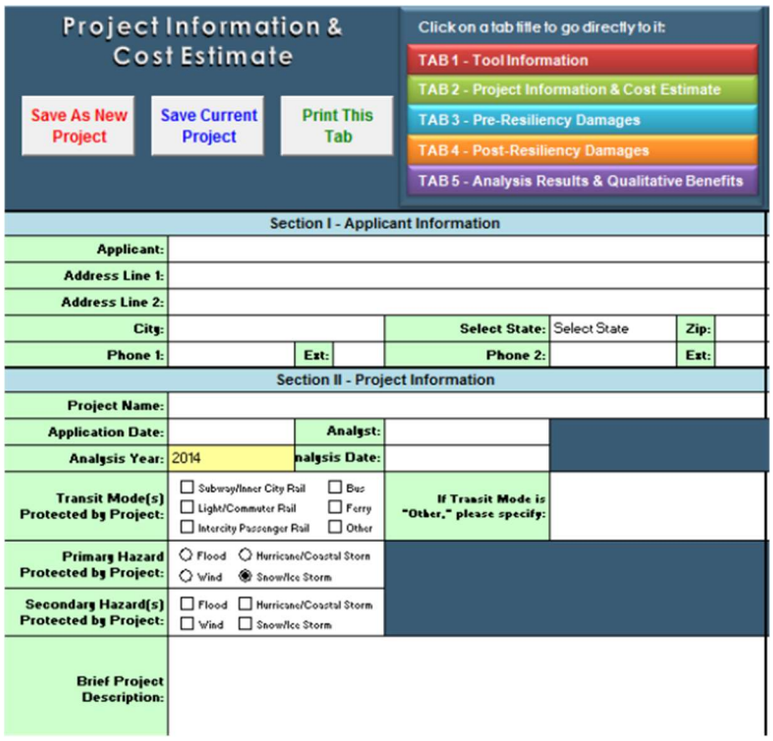
先於短期執行外，中長期計畫大多會透過方案的評估決策機制來決定推動的優先性（如應用多準則評估方法、成本效益評估或是成本效果評估等方法，圖 3.4.27）。為期使能具體呈現調適計畫之效益，凸顯調適計畫的必要性，建議交通部著手研議運輸系統氣候變遷調適計畫的投資評估方法，做為投資決策之參據。美國的 DOT 為確保款項支援的項目盡可能有效的用在氣候變遷調適韌性功能上，在交通部酌情撥款的計畫中納入韌性標準，以做為驗收評估標準。

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。



資料來源：1.National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2020.
2.交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110 年。

圖 3.4.27 調適計畫成本效益評估輔助軟體示意圖

2. 運輸管理機關（構）

(1) 將氣候風險與機會納入營運策略。

(2) 強化資金調度及取得，善用公共與公私合作夥伴關係，利用內部預算分配及私人部門資金，如贈款、擔保、股權、優惠性債務、市場債務與及保險等財務工具。

義大利 Ancona 市的氣候變遷調適效益評估[48]

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。

表 3.4-4 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

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%。

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 3.4-5 例。

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。

表 3.4-6 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	18,920,000
不連續都市紋理	2.4	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

歐洲大規模投資和關鍵基礎設施對氣候變遷的抵禦能力 [49]

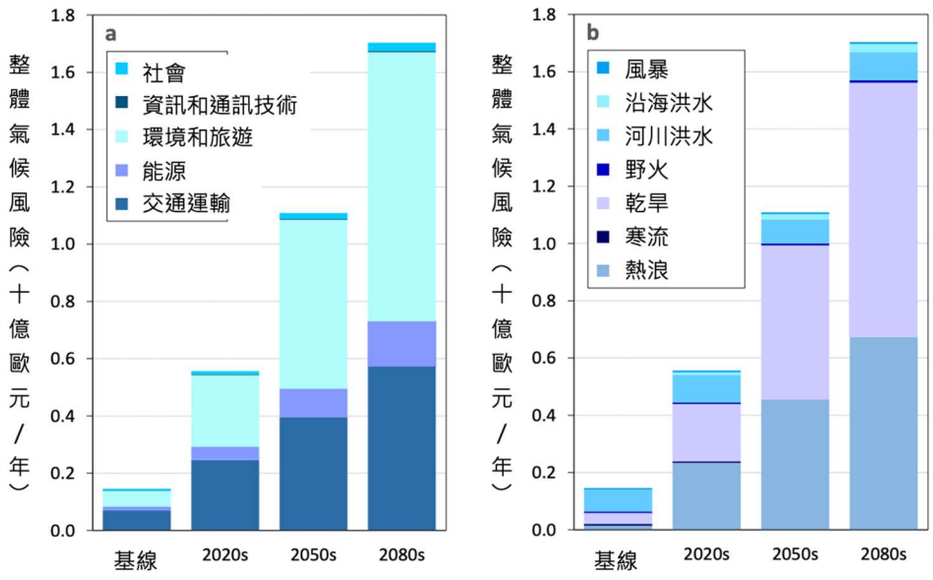
此報告旨在評估氣候極端事件對歐洲現有關鍵基礎設施，以及 2007 年至 2013 年期間區域投資的影響（圖 3.4.28）。經濟成本在不同區域和部門之間略有不同，為具備關鍵基礎設施應對未來氣候變遷影響，須考慮以下部門之調適措施：能源、運輸、工業、社會。研究內容包括：了解歐洲在二十一世紀內將面臨之多重氣候極端事件；開發現有關鍵基礎設施數據資料庫；確定關鍵基礎設施和歐盟資助項目對氣候風險的敏感

性；一致且可比較跨部門與氣候相關危害的影響；評估基礎設施的調適成本。

目前，48%的災害影響與運輸投資有關，37%與環境和旅遊部門有關。預計運輸部門的年損害將增加 7 倍，從基準狀況下的每年 7000 萬歐元增加到 2080 年時的每年 5.73 億歐元。對於環境和旅遊部門，損害將以雙倍的速度增加（增加 16 倍），從目前的每年 5500 萬歐元增加到本世紀末時的每年 9.4 億歐元。因此，這個部門將佔未來氣候變化下歐盟投資總損害的一半以上（55%，而運輸部門為 34%）。

在世界資源研究所（WRI）提出的報告「調適綠色經濟：世界資源報告」（Adapting for a Green Economy: World Resources Report）中提到可以透過以下幾點以因應氣候變遷需求建構綠色金融機制：應避免成本、管理負債，並構建抵禦氣候變遷影響的調適能力、增強社區的復原力；獲得新的合作機會與公共部門合作，尋求企業夥伴支持優先性較高的氣候服務；建立企業信譽並透過展示良好的企業公民意識，致力於降低氣候脆弱性和促進長期復原力。

投資或其他私部門行動採取調適氣候變遷的措施也有利於促進「綠色經濟」，綠色經濟是一種低碳經濟，具有資源節約與社會包容性。綠色經濟策略性措施可以創造就業機會和減少溫室氣體排放、改善資源效率並防止生物多樣性喪失。企業可以加速向綠色經濟轉型。



資料來源：Resilience of large investments and critical infrastructures in Europe to climate change, 2015.

圖 3.4.28 不同部門針對氣候變遷風險投入之金額

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。

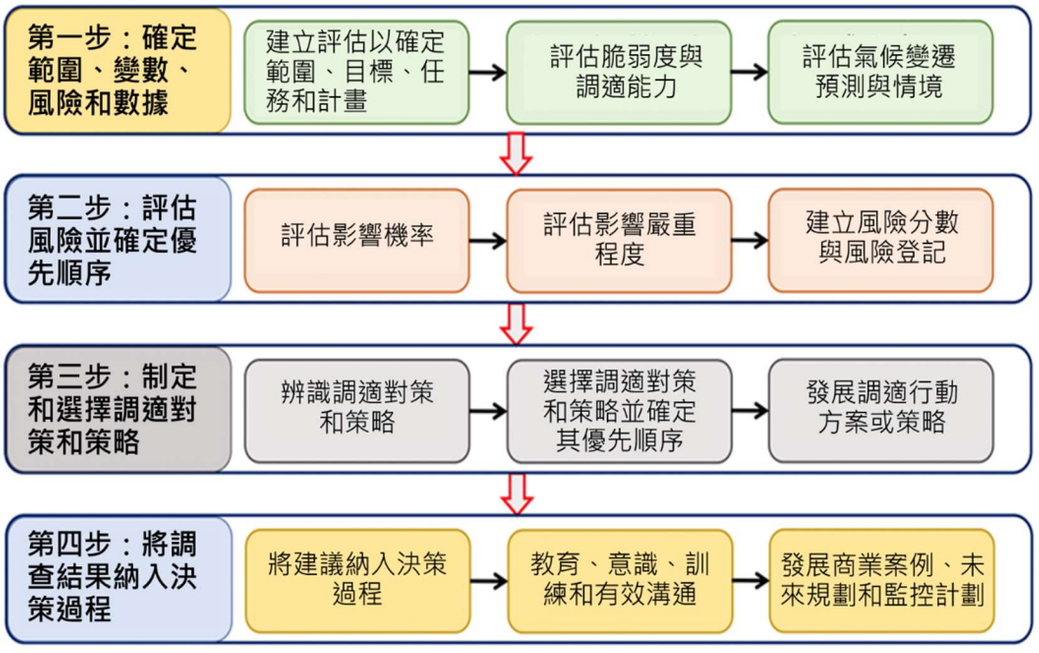
綜上，本項措施重點與建議執行單位為運輸管理機關（構）建立調適計畫管理、監測與學習機制。

道路調適框架 [50]

目前已經有許多案例在交通規劃、設計和管理中考慮氣候變遷調適網路和系統。其中被廣泛使用的兩套系統是由世界道路協會（PIARC）和美國聯邦公路管理局（FHWA）所提出。

世界道路協會 PIARC 框架（圖 3.4.29）旨在指導當局透過識別相關資產及其面臨的氣候變遷風險將調適對策和評估結果納入決策，框架分為四個階段：

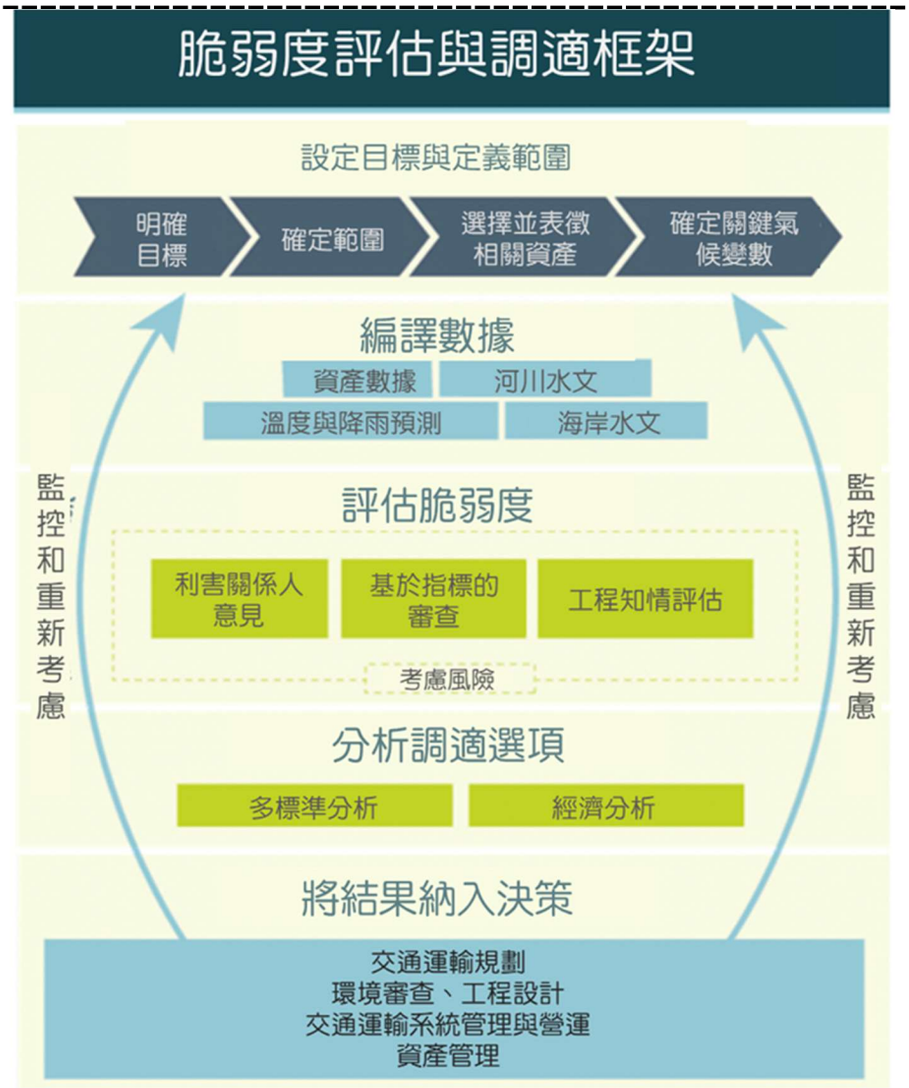
1. 確定範圍、變數、風險和資料要求
2. 風險評估與優先排序
3. 調適對策和策略的發展和選擇
4. 將調查結果納入決策過程。



資料來源：Strategic plan 2020-2023, 2020.

圖 3.4.29 世界道路協會調適框架

而美國聯邦公路管理局（FHWA）架構提供調適決策過程，來自對運輸系統績效的持續監測和審查，以用於重置和修改目標和範圍（圖 3.4.30）。這兩個框架都涉及風險的評估、優先排序（廣泛定義為事件的機率和該事件影響乘積）及弱勢群體的識別。FHWA 架構主要關注建立模型及利害關係人回饋並強調透過經濟分析和多標準進行定量評估。



資料來源：FHWA, Vulnerability Assessment and Adaptation Framework (VAF), 2017.

圖 3.4.30 美國聯邦公路管理局調適框架

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 3.4.31）。



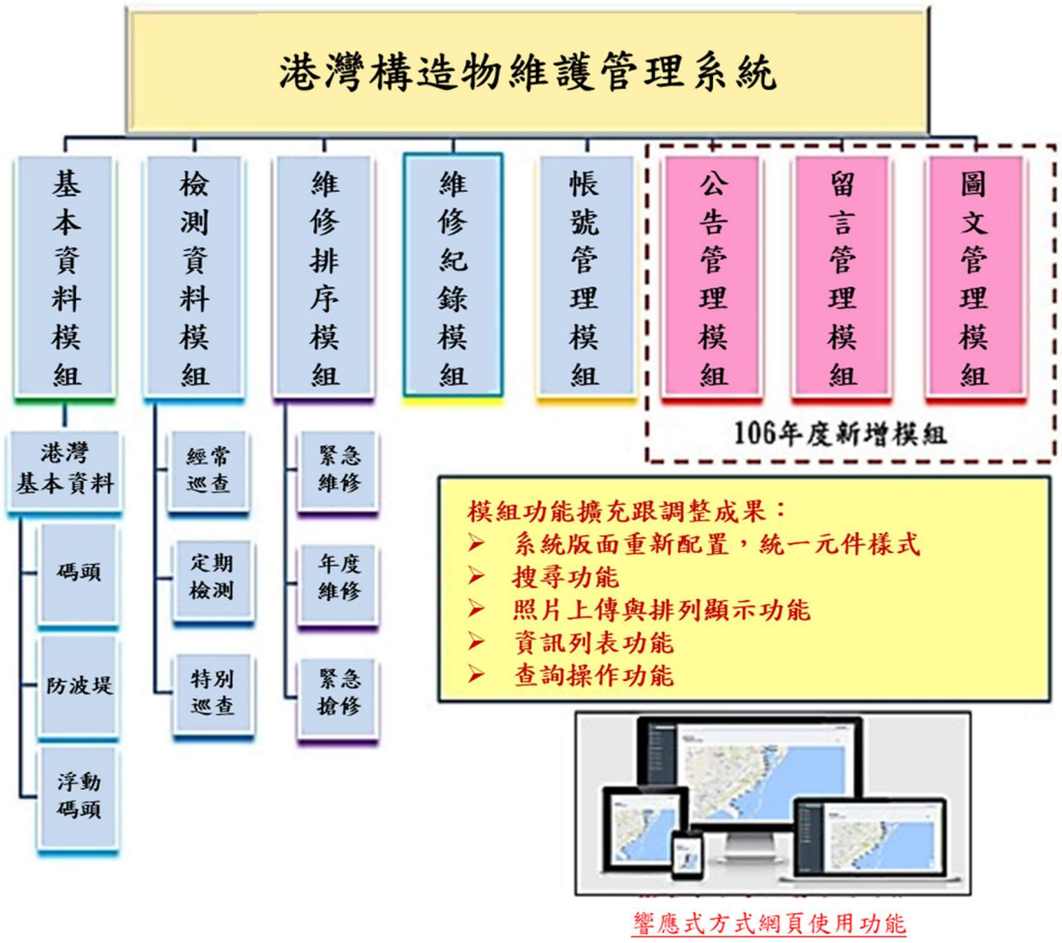
資料來源：交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），110年。

圖 3.4.31 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、公路局等、港務公司（圖 3.4.32）等，則持續優化系統。

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、設施調適能力等面向，各運輸管理機關（構）未來應依個別設施之風險評估指標，對相關資料進行長期且持續的蒐集建置。關於危害程度方面，雖然水利署、經濟部地質調查及礦業管理中心、國科會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，建議各運輸管理機關（構）應針對個別設施所處地區之現況及氣候變遷情境下的風險進行調查分析與模擬，以切合實際需要。而為提高風險管理效率，建議利用上述資料開發用於支援風險評估之資訊系統。

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



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，107 年。

圖 3.4.32 碼頭維護管理系統功能架構

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

(1) 設施全生命週期管理資料庫（即風險為基礎的資產管理概念）。

(2) 風險評估指標資料庫。

(3) 風險潛勢調查分析與情境模擬。

(4) 計畫投資評估參數資料庫。

2. 運輸管理機關（構）建置有助於提升風險管理效率之支援系統工具並持續優化

(1) 設施全生命週期管理系統。

(2) 設施風險評估資訊系統。

(3) 氣候變遷調適計畫投資決策支援系統。

3. 運輸管理機關（構）開發有助研擬調適計畫的資料庫

(1) 調適方案/計畫、研究參考。

(2) 氣候與歷史衝擊數據。

臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台

國科會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。

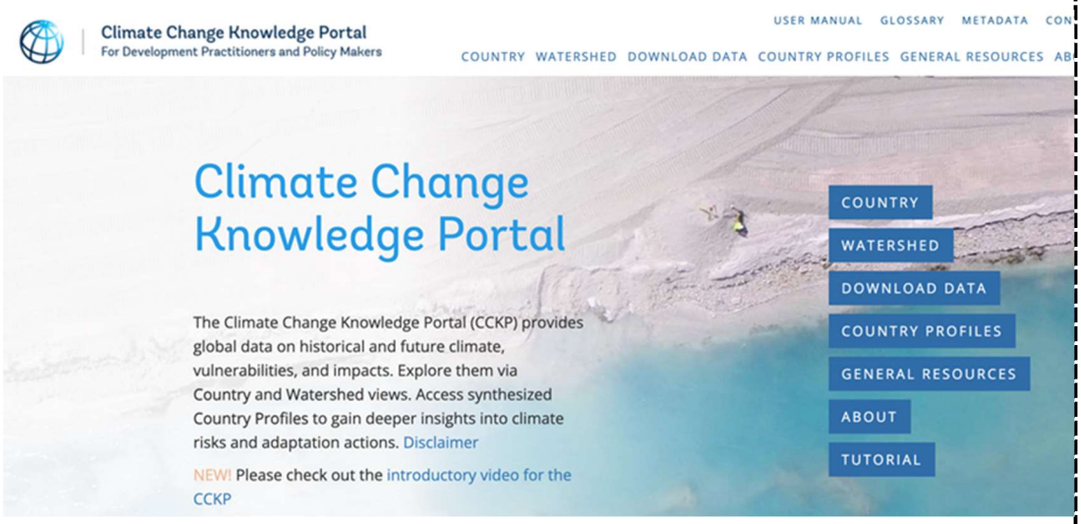


資料來源：https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ark_03.aspx

圖 3.4.33 TCCIP 調適知識平台與調適模擬器說明圖

世界銀行「氣候變遷知識入口網站」[51]

世界銀行的「氣候變遷知識入口網站」（Climate Change Knowledge Portal，CCKP）是一個網絡平台，旨在協助提升調適能力和知識發展，提供全球、區域和國家氣候變遷發展相關的全面訊息、數據和工具。



圖片來源：https://climateknowledgeportal.worldbank.org/

圖 3.4.34 世界銀行氣候變遷知識入口網站頁面

CCKP 包含環境、災害風險和社會經濟資料庫，用戶能夠視其需要選擇資料，如：「氣候變遷脆弱度、風險減少和調適」概況可以作為業者參考，以將氣候韌性融入發展規劃和營運中。CCKP 由 Google Maps 界面組成。用戶可以通過解讀不同級別的氣候和氣候相關數據，評估地球上特定地點的氣候相關脆弱度、風險和行動。

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、林業及自然保育署、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，但根據運輸管理機關（構）過往經驗，協調成效並非十分理想。在文獻探討中法國和德國的案例是以由各部門的專家共同參與建立跨領域工作小組和相互關聯的子計畫，以解決交通基礎設施和流動性的問題。英國和美國的調適計畫則強調解決方案的整合性，考慮運輸系統和相關基礎設施的相互依賴性，跨足氣候變遷、能源、土地使用等多個範疇，透過協同合作確保適切的氣候調適和韌性。在此過程中，科學交流、跨部門協調、專業知識共享成為不可或缺的手段，以應對極端事件和氣候變遷的威脅。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。

綜上，本項措施之重點與建議執行單位簡要歸納如下：

1. 交通部
   (1) 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。
   (2) 評估運輸系統正常運作時所需其他非運輸單位（如能源機關、數位機關）資源。
2. 運輸管理機關（構）盤點極端天氣推估模擬科研單位國家情境下各種可

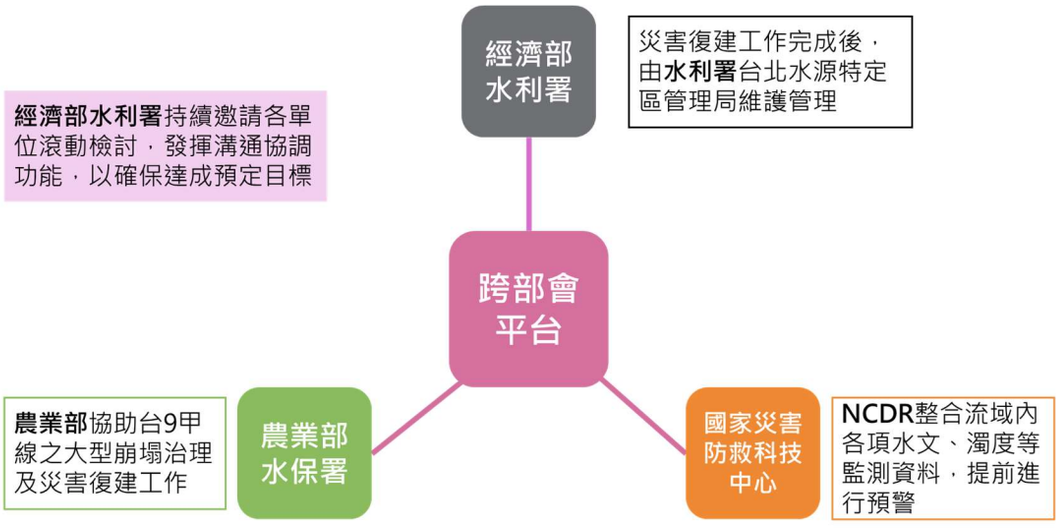
能影響系統氣象因子之影響情境。

3. 盤點維持系統正常營運所需其他非運輸單位（如能源機關、數位機關）資源。

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、農業部水保署、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、農業部水保署等），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、農業部水保署、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。

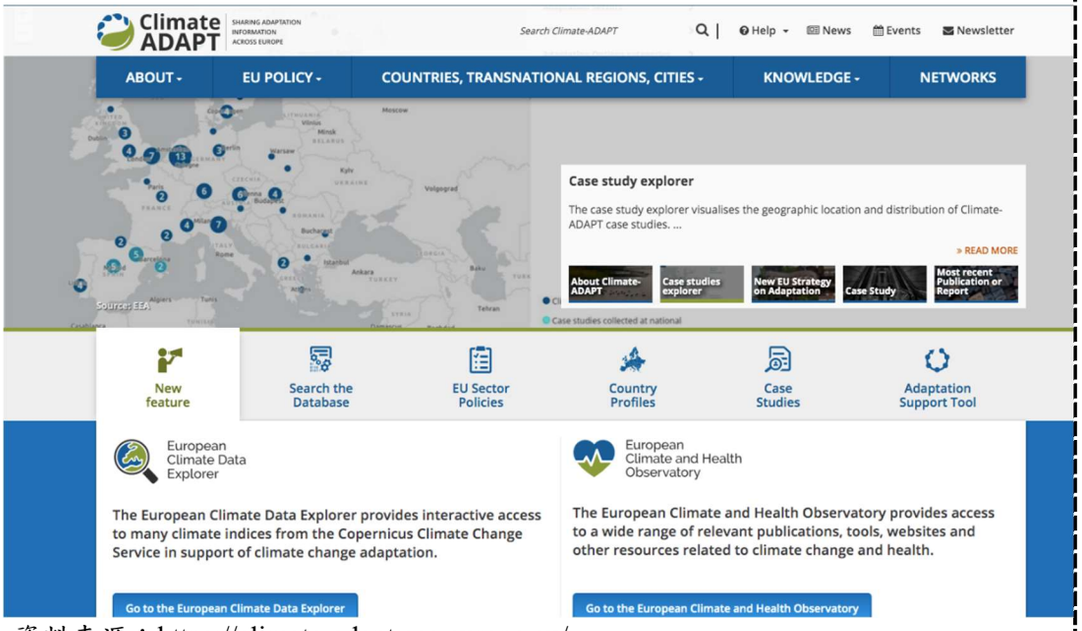


資料來源：https://www.wra.gov.tw/NewsAll_Content.aspx?n=6272&s=59444，本計畫繪製。

圖 3.4.35 跨部會之運作平台案例說明圖

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。

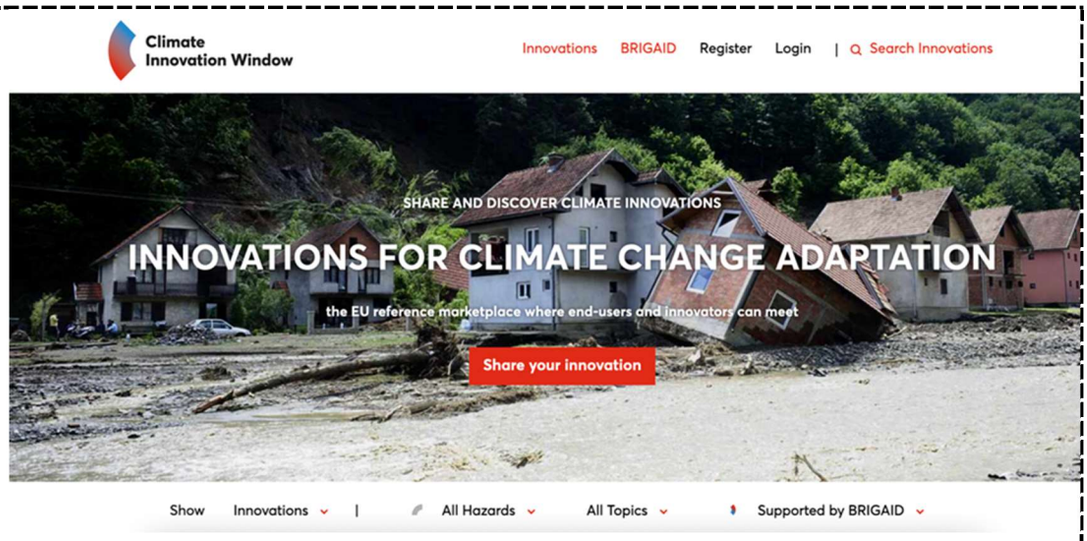


資料來源：https://climate-adapt.eea.europa.eu/

圖 3.4.36 Climate-Adapt 平台首頁

氣候創新窗口（The Climate Innovation Window）

氣候創新窗口（The Climate Innovation Window）旨在成為氣候變遷調適創新的參考網站。使用者可以按災害（沿海洪水、乾旱、熱浪、暴雨、河流洪水、風暴、野火和多重災害等）和主題（農業、災害和訊息通訊技術、能源、森林、基於自然的解決方案、河流、城市地區、水資源供應、水質、水安全等）瀏覽數據資料庫。每個數據的成熟度皆透過技術成熟度水平（TRL）進行評估，各級別代表創新發展進展，數據庫中收納的案例包含從最初的想法（第 1 級）到產品在市場上的全面應用（第 9 級）。



資料來源：https://www.climateinnovationwindow.eu/

圖 3.4.37 氣候創新窗口網站

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

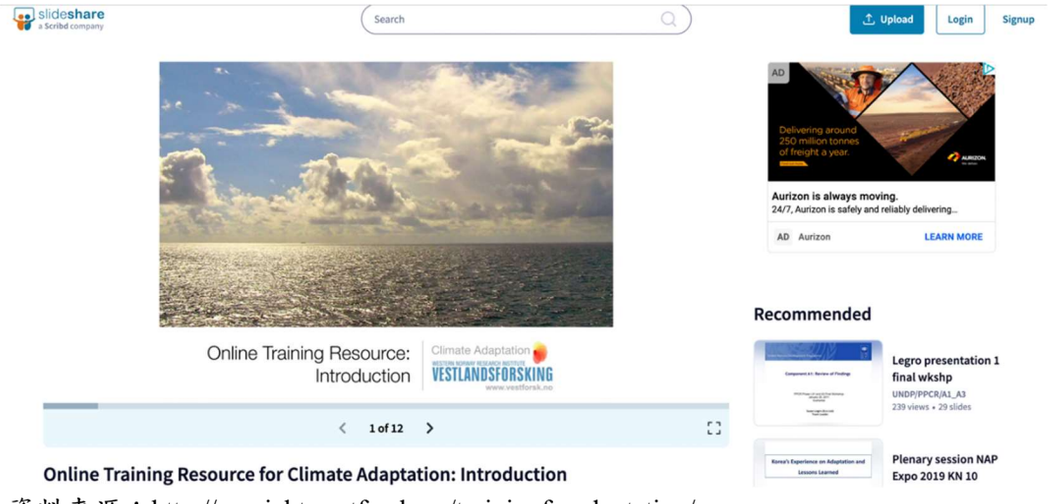
針對上述問題，建議運輸管理機關（構）未來持續辦理運輸系統氣候變遷調適議題研討，促進氣候變遷風險管理及相關知識與科技的交流傳遞，透過培訓機制提升內部人員的相關知識與專業素質（可思考以分階段方式培育人才，如分為規劃階段、設計階段與施工階段的執行人員所應具備的氣候變遷與調適的知識與技術），更極積的方式則可視需要建立調適專責單位，以提升調適工作推動量能。此外，積極於國內外交流調適相關知識與技術。

綜上，本項措施之重點與建議執行單位簡要歸納如下：

1. 交通部宜優先規劃調適相關專業課程，辦理教育訓練。
2. 運輸管理機關（構）
   (1) 辦理運輸系統氣候變遷調適議題國內與國際研討。
   (2) 建立氣候變遷調適人才培訓制度（可分階段培訓）。
   (3) 視需要成立氣候變遷調適專責單位。
   (4) 規劃機關（構）內調適相關專業課程，辦理教育訓練。

挪威「調適培訓網絡資源」課程

挪威西部研究所（Western Norway Research Institute）開發之「調適培訓網絡資源」的培訓課程主要分為四個主題：(1) 分析氣候脆弱度；(2) 制定調適策略；(3) 實施調適措施；(4) 評估策略和措施。每個主題都包括多個演示文稿、連結和資源列表，並提供簡介和指南，內容包含利害關係人參與、應對氣候懷疑論，以及調適和永續社區，此外，亦提供培訓師說明供參考。



資料來源：http://prosjekt.vestforsk.no/trainingforadaptation/

圖 3.4.38 挪威西部研究所調適培訓網絡資源

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運輸管理機關（構）及相

關部會等公部門的推動外，亦需利害關係人的支持、配合與共同實踐，就回顧國外文獻可發現，許多國家皆在調適計畫研擬的初期階段就納入利害關係人的參與，以達到共識凝聚之效果，並更完整掌握資訊，更順利推動調適計畫。

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



利害關係人溝通



氣候變遷寓教於樂示意

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

綜上，本項措施之重點與建議執行單位簡要歸納如下：

1. 運輸管理機關（構）

(1) 辨識利害關係人，且應確認納入脆弱群體。

(2) 政策及措施應融入綜合性與以社區為本，在原住民保留地需以原住民族為本。

(3) 建立雙向風險溝通與資訊教育之機制。

(4) 建立利害關係人可合作調適計畫的不同機制。

波士頓中央隧道改造

「波士頓中央隧道改造（美國麻薩諸塞州）」研究是在「氣候調適基礎設施：制定正確的政策」（Climate-resilient infrastructure: Getting the policies right）[52]中的一個參考案例。中央隧道項目是一大型項目，為波士頓市中心主要高速公路及新英格蘭地區重要南北交通走廊。該項目始於 1991 年，於 2006 年完工，取代老舊六車道高架高速公路，建造新的地下高速公路、跨越查爾斯河的兩座橋梁，以及將 90 號州際公路延伸至波士頓洛根國際機場和 1A 號州道。總建設成本為 150 億美元，修建 161 英里（259 公里）長的高速公路，橫跨 7.5 英里（12 公里）的走廊。該項目的治理涉及各類利害關係人，包括研究人員、聯邦機構、地方當局和民間社會。利害關係人溝通平台包括：技術諮詢委員會，指導營運並協助建立模型和方法論，由政府機構和研究機構專家組成；機構知識會議，協助選擇優先投資項目，由各部門人員參與；利害關係人會議，包括資助機構、政府機構、地方當局和非政府組織。

此項目重點強調將特定地點保護與區域調適措施相結合，以防範洪水入侵並實現最佳保護，其成本效益可能優於僅依賴地點層級的保護。然而，合作中須面臨協調及利害關係人間的利益和規劃衝突。因此，將根據措施規模劃分權責，麻州交通部負責建立地方保護措施，而區域調適將交由州和地方利害關係人負責。

關於海港氣候變遷調適的說明[53]

在「關於海港氣候變遷調適的說明：一項挑戰」中提到：

全球港口，全球社會的挑戰百分之八十的世界貿易透過海運進行，海港提供至關重要的全球供應鏈，且可能會直接和間接受到氣候變遷衝擊影響。由於海港位於沿海位置，特別容易受到與海平面上升相關之極端天氣事件影響及熱帶風暴活動，如：颶風。鑑於海港作為全球化貿易體系之重要角色，使港口具備適應氣候變遷影響的調適能力相當重要。反映不同利害關係人之觀點，包含：氣候科學、工程、經濟、政策和港口的專業知識管理人員，強調港口面臨的氣候變遷挑戰，並採取初步措施以取得調適進展。需要來自港口人員、公共和私營部門利益相關者，以及來自社會的合作。

港口氣候變遷調適需要加強和利害關係人之間的合作關係，並考慮港口與週邊地區之間的相互關係。由於港口既提供私部門利潤，又提供關鍵的公共服務，利害關係人各不相同。例如，提高港口收入的同時，可能會導致現有自然區域的生態系和鄰近地區的旅遊業衰退。應識別利害關係人，並在工程師、規劃者、投資者、保險公司、科學家、港口和船舶營運商之間建立對話、監管機構、區域利益集團以及國際組織，港口當局亦可以從調適中獲益良多，促進新的變革合作形式。

3.5 運輸系統調適策略與措施綜理

根據文獻回顧國內外氣候變遷調適發展趨勢、氣候變遷因應法，建議需落實加強整合跨領域及跨層級工作、納入綠色金融機制、加強人才培育、考慮脆弱群體、社區及原住民族為本，並適合納入自然為本解決方案。與我國運輸系統氣候變遷調適四大策略 15 項措施進行參照比較，檢討後之調適策略內容，將以上重點分別在以下措施納入說明。

1. 措施 1-3「檢討並將氣候調適概念納入規範或作業程序」納入了解自然為本理念，包括自然為本解決方案之準則、應用及限制。
2. 措施 4-1「建立調適計畫投資決策評估方法」納入建議設施管理機關(構)

將氣候風險與機會納入營運策略；並強化資金調度及取得，善用公共與公私合作夥伴關係，利用內部預算分配及私人部門資金，如贈款、擔保、股權、優惠性債務、市場債務與及保險等財務工具。

3. 措施 4-4「強化氣候調適跨域整合推動與機制」納入建議交通部評估運輸系統正常運作時所需其他非運輸單位（如能源機關、數位機關）資源。建議設施管理機關（構）盤點極端天氣推估模擬科研單位國家情境下各種可能影響系統氣象因子之影響情境。整體應盤點維持系統正常營運所需其他非運輸單位（如能源機關、數位機關）資源。
4. 措施 4-5「培育氣候變遷風險管理與調適專業人才」納入交通部應優先規劃調適相關專業課程，辦理教育訓練；而運輸管理機關（構）也應各自規劃機關（構）內調適相關專業課程，辦理教育訓練。
5. 措施 4-6「調適計畫與利害關係人溝通或合作」除原先辨識利害關係人之外，應確認納入脆弱群體。在政策及措施應融入綜合性與以社區為本，在原住民保留地需以原住民族為本。

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、提升衝擊耐受力	提升運輸系統在氣候變遷下的衝擊耐受力	1-1	建立設施安全性、與風險評估方法	■運輸管理機關（構） ・建立設施安全性標準與評估方法並持續精進 ・建立氣候變遷風險評估方法，訂定可承受之風險基準並持續精進 ・定期或於重大天氣事件衝擊後評估設施安全性與風險等級	個別系統	持續性
		1-2	迴避高風險潛勢地區持續受損點位改、廢線	■運輸管理機關（構） ・新建設施選址應考量氣候變遷情境並迴避高風險地區 ・與環境部會考量周邊環境關係，視情況運用以自然為本解決方案 ・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	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	■運輸管理機關（構） ・了解自然為本理念，包括自然為本解決方案之準則、應用及限制 ・檢討並提高設施抗氣候變遷環境標準 ・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 ■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	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	■運輸管理機關（構） ・依氣候變遷情境所致風險之分析與模擬結果，並視資源與需要運用科技、材料、工程工法與設備提升設施耐受力 ・推動示範或先導計畫運用科技、材料、工程工法與設備並監測其於提升衝擊耐受力的成效 ■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	個別系統	持續性
		1-5	強化跨運輸系統的運輸連結性	■運輸管理機關（構）彼此間之連結性加以強化： ・國道及快速公路交流道及其聯絡道路 ・鐵路車站聯外道路 ・機場及港口聯外道路 ・重大儲油、儲氣、儲水、儲電設施聯外道路	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 1）

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	■運輸管理機關（構） ・彙整國內外各研發單位技術 ・共享資訊，以加強應變與橫向聯防 ・利用免費社群網路做資訊傳遞 ・進行天氣事件衝擊機率研究	■個別系統 ■跨系統 ■跨單位	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	■運輸管理機關（構） ・檢討及調整監測設施的設置點位與密度 ・加強即時監測的涵蓋面 ・思考應用微型氣象站蒐集之小尺度資訊結合氣候局大尺度資料做數據之微調，以利更完善掌握設施周邊之氣候狀態 ■氣象署 ・加強相關氣象資訊之提供	■個別系統 ■跨單位	短、中期
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	■運輸管理機關（構） ・依運輸系統設施地區回復程度建立分階段復建原則 ・掌握受損範圍回復狀態，透過資料之蒐集，決定復建期程與工法 ■交通部 ・研議簡易修復相關規範 ・交通部彙整國內各研發單位技術	個別系統	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	■運輸管理機關（構） ・研議運輸系統內部備援體系與運作機制與外部跨運輸備援體系與運作機制 ・與運輸業者規劃系統內部及外部跨系統的備援設施、替代路線、替代運具，以及接駁運具等 ・強化道路阻斷資訊與替代路線的資訊傳遞	■個別系統 ■跨系統 ■跨單位	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 2）

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	■交通部 ・建立氣候變遷調適計畫成本效益評估方法並持續精進 ・規範調適計畫於預算申請時檢附計畫成本效益評估作佐證 ■設施管理機關（構） ・將氣候風險與機會納入營運策略 ・強化資金調度及取得，善用公共與公私合作夥伴關係，利用內部預算分配及私人部門資金，如贈款、擔保、股權、優惠性債務、市場債務與及保險等財務工具	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	■運輸管理機關（構） ・建立調適計畫管理、監測與學習機制	個別系統	短期
	支援風險評估及計畫投資決策所需資料	4-3	建置或應用風險管理與調適所需資料庫及工具	■運輸管理機關（構）建置風險管理資料庫，以 TGOS 共享 ・設施全生命週期管理資料庫 ・風險評估指標資料庫 ・風險潛勢調查分析與情境模擬 ・計畫投資評估參數資料庫 ■運輸管理機關（構）建置有助提升風險管理效率支援系統工具 ・設施全生命週期管理系統並持續優化 ・設施風險評估資訊系統並持續優化 ・氣候變遷調適計畫投資決策支援系統並持續優化 ■運輸管理機關（構）開發有助研擬調適計畫的資料庫 ・調適方案/計畫、研究參考 ・氣候與歷史衝擊數據	■個別系統 ■跨單位	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 3）

策略	調適課題	措施		重點	屬性	期程
四、增進決策支援力	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	■交通部 ・推動運輸系統氣候變遷調適整合推動平台與機制，鼓勵資料共享 ・評估運輸系統正常運作時所需其他非運輸單位（如能源機關、數位機關）資源 ■設施管理機關（構） ・盤點極端天氣推估模擬科研單位國家情境下各種可能影響系統氣象因子之影響情境 ■盤點維持系統正常營運所需其他非運輸單位（如能源機關、數位機關）資源	■跨系統 ■跨單位	中期
	培育調適專業人才	4-5	培育氣候變遷風險管理與調適專業人才	■交通部 ・規劃調適相關專業課程，辦理教育訓練 ■運輸管理機關（構） ・辦理運輸系統氣候變遷調適議題國內與國際研討 ・建立氣候變遷調適人才培訓制度（可分階段培訓） ・視需要成立氣候變遷調適專責單位 ・規劃機關（構）內調適相關專業課程，辦理教育訓練	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	■運輸管理機關（構） ・辨識利害關係人，且應確認納入脆弱群體 ・政策及措施應融入綜合性與以社區為本，在原住民保留地需以原住民族為本 ・建立雙向風險溝通與資訊教育之機制 ・建立利害關係人可合作調適計畫的不同機制	個別系統	短、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。底線為本次新增部分。

第四章 探討運輸管理機關（構）應具備之調適專業能力

本章以運輸管理機關（構）人員未來執行該機關（構）調適業務的重點工作項目出發，參考國際氣候變遷調適發展趨勢、UNFCCC 運輸部門氣候行動關鍵願景各階段目標，以及國內外運輸系統調適專業課程（詳第二章），盤點運輸管理機關（構）人員應具備之調適專業能力。

運輸管理機關（構）應具備之氣候變遷調適專業能力分三類，第一類調適基礎能力」涵蓋調適基礎認知的基礎科學、法規或理念，第二類「調適進階能力」為各運輸系統通用，執行調適工作所需具備之能力或方法，第三類「運輸系統領域調適專業知能」則為每個運輸系統各別的調適專業知能。

4.1 運輸管理機關（構）調適基礎能力

調適基礎能力著重於認知氣候變遷調適基本理念及可用工具，基本理念涵蓋氣候變遷基礎科學及自然為本兩部分，可用工具則包括法規政策、氣候風險評估及財務工具等。

4.1.1 氣候變遷基礎科學

氣候變遷科學基礎概念將分為兩大部分，第一部分為造成氣候變遷的原因，以及在自然環境與人文社會的發展情況下，影響氣候變遷的關鍵因子；第二部分為氣候變遷與交通系統之關聯性，透過近年來國內外各種極端氣候所造成之天然災害對交通系統所產生之影響。

1. 氣候變遷影響因子

IPCC 於 2023 年 3 月 20 日發布之氣候變遷第六次評估報告總結報告（Synthesis Report of the IPCC 6th Assessment Report，簡稱 IPCC AR6 SYR）[55]的決策者摘要（Summary for Policymakers）主要內容分為：「當前趨勢與狀態」、「未來氣候變遷、風險和長期應對」及「近期應對」等三個部分，彙整當前氣候變遷與其廣泛影響和風險，以及如何減緩與調適的知識。

針對臺灣氣候變遷長期趨勢，國科會於 2017 年出版國家氣候變遷科學報告 2017[56] ，該報告分成兩大冊，第一冊物理現象與機制主要在分析彙整影響氣候因子與氣候之變化趨勢，第二冊衝擊與調適面向主要則注重與分析彙整氣候變遷可能帶來之衝擊與可能採取之調適行動，並以我國國內科學發展結果為主要探討對象。在 AR6 發布後，2021 年 8 月由科技部、中央研究院等單位聯合發布之「IPCC 氣候變遷第六次評估報告之科學重點摘錄與臺灣氣候變遷評析更新報告」，提出 AR6 為基礎之臺灣氣候變遷趨勢觀測與推估更新，「國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適」[57]已於 2024 年 5 月發布。

國家氣候變遷科學報告之重要面向分別為：（一）面臨的關鍵問題；（二）目前現況風險；（三）氣候變遷下未來可能面臨的風險；（四）面對未來問題可能之調適選項；（五）最後針對推動調適措施可能之挑戰進行探討，包括科學研究與應變體制不足等，並提出科學發展與推動機制之建議。

以上 IPCC AR6 與國科會國家氣候變遷科學報告是氣候變遷調適基礎科學知識的主要來源。

由於近年氣候變遷科學發展十分迅速，對於各項名詞定義、內涵與認知會經常性變動，為提升產、官、學對於國際氣候變遷專有名詞認知能力，避免中英譯名在不同文件有差異，環境部（原行政院環保署）於 2023 年 3 月出版「氣候變遷專有名詞手冊」[58]提供全國一致性專有名詞，以英文字母分類並排序，分別依序包含英文名、中文名及名詞定義等三大部分，其內容包含聯合國氣候變化綱要公約（United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC）、巴黎協定（Paris Agreement）、淨零排放、溫室氣體減緩、盤查、查證及氣候變遷調適等議題，參考我國「氣候變遷因應法」、聯合國政府間氣候變化專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）、歐盟執委會等國際組織彙編成完整的氣候變遷相關專有名詞。

2. 氣候變遷與交通系統之關聯性

運輸系統面對於氣候變遷所可能遭受的衝擊影響，除設施結構本身之抗災能力外，因所在之地理區位不同所需承受之氣候災害或風險也不同。交通系統可能面臨之主要災害包括因為豪雨、水位上升、強風及劇烈溫差變化而導致受損。認識、理解並掌握各種運輸系統設施所面臨之災害類型與受損模式，將是後續氣候變遷風險評估與調適最重要之先期引導知識。

例如臺灣山地區域比例高，鐵公路路線常須穿梭於河谷擴建，在強降雨作用下，易受到邊坡滑動崩塌及河谷沖蝕，使道路與橋梁因路基沖毀導致道路中斷。此外在極端氣候影響下，用路人駕駛行為與心態容易受到影響，例如高溫使得駕駛人失去耐性，加快行車速度；強降雨影響視線及路面濕滑等，都會對路面交通事故有著一定程度的影響。

4.1.2 國家政策與法規認識

我國自 2012 年 6 月，行政院核定「國家氣候變遷調適政策綱領」，訂定調適政策願景、政策原則及政策目標，並提出因應調適策略，再依此架構由各部會及所屬機關進行調適行動方案與計畫。其中與交通運輸基礎設施有關之調適策略為：

1. 檢視評估現有重大公共工程設施之脆弱度與防護能力，強化災害防護計畫。
2. 重大建設與開發計畫應落實防災脆弱度評估，並強化災害防護。
3. 既有法令與相關規範之落實與檢討修訂以強化設施的調適能力。
4. 建立設施安全性風險評估機制及生命損失衝擊分析模式。
5. 擬定落實維生基礎設施分等級之開發與復建原則。
6. 落實維生基礎設施維修養護，以提昇其於氣候變遷作用下之調適能力。
7. 加強各管理機關協調機制與產業、學術界資源之整合，以因應氣候變遷衝擊。
8. 提升維生基礎設施營運維護管理人力素質及技術。
9. 建置維生基礎設施營運管理資料庫及強化監測作業。
10. 研發基礎設施之氣候變遷調適新技術。

由當時之策略方向可以觀察出當時之國家氣候變遷調適方向，以減輕極端氣候災害及災後復健為主，較偏向短期氣候事件之對應，而非對「氣候變遷」現象之長期因應。

自 2012 年之後，國家歷經 2015 年溫室氣體減量管理法(以下簡稱溫管法）通過、2018 年國家氣候變遷調適行動方案（107-111 年）核定實施、2023 年溫管法修正為「氣候變遷因應法」並納入調適專章、2023 年公布「國家因應氣候

變遷行動綱領」，國家對於氣候變遷調適推動一直在滾動式調整，而運輸系統也一直配合提出新目標、新策略措施及新計畫。根據以上發展歷程顯示，調適政策都在相關法規支持下推動，因此掌握法規脈動及解讀法規更新後的執行重點是管理機關（構）應具備之調適專業能力之一。

1. 氣候變遷因應法

為因應全球氣候變遷，制定氣候變遷調適策略，降低與管理溫室氣體排放，落實世代正義、環境正義及公正轉型，善盡共同保護地球環境之責任，並確保國家永續發展，因此制定氣候變遷因應法（以下簡稱氣候法）。

相較於氣候法前身溫管法僅宣示了「減緩」與「調適」並重之國家精神，氣候法內增訂了調適專章，調適專章從基礎能力建構、科研推估接軌、確定推動架構等 3 重點著手。重點一為提升國家整體因應氣候變遷基礎能力，政府應推動調適能力建構事項，並融入國民、事業、團體應致力參與之責任；重點二就強化科研接軌，由中央科技主管機關綜整氣候變遷科學、情境及風險資訊，定期公開氣候變遷科學報告，各級政府進行氣候變遷風險評估，做為調適推動依據；重點三係確定氣候變遷調適推動架構，由中央目的事業主管機關訂定「權責領域調適行動方案」，中央主管機關整合擬訂「國家氣候變遷調適行動計畫」，地方政府訂定「氣候變遷調適執行方案」強化因地制宜之調適策略，透過每年編寫成果報告，踐行資訊公開及公眾參與程序。

根據氣候變遷因應法第 17 條，政府應推動各項事項以構建氣候變遷調適能力，該條文中明列 10 項氣候變遷調適能力建構項目，第 18 條則明訂國家氣候科學報告之產製及使用（如圖 4.1.1）。本計畫初步分析其中與運輸設施管理機關（構）直接相關能力建構項目，包括：



資料來源：本計畫繪製

圖 4.1.1 氣候變遷因應法第 18 條氣候科研與風險評估示意圖

(1) 以科學為基礎，評估氣候變遷風險：各部會應使用相同「國家調適應用情境」做為評估氣候變遷風險和辨識調適缺口的共同參考基準。該情境基於固定暖化情境設定，即西元 2021-2040 年升溫 1.5℃和西元 2041-2060 年升溫 2℃。

(2) 強化因應氣候變遷調適能力，提升氣候韌性：包括減少運輸設施脆弱性，增強其耐受力和恢復力。

(3) 確保調適措施與國家永續發展目標相一致：確認所採取之調適措施符合或不損害永續發展目標（SDGs）。

(4) 促進研發並推動與氣候變遷調適相關的衍生產品和商機：運輸設施可透過交通技術創新、綠色能源基礎建設、智慧運輸解決方案及氣候變遷監測和預警系統等方式，促進科技研發及相關產業發展。

(5) 強化調適教育、人才培育和公民意識提升：運輸設施管理機關可以藉由教育和培訓計畫、專家和顧問支援、跨部門合作、辦理線上論壇和專業研討會進行知識交流，以及建構教育和培訓分享平台等，建立具備專業調適能力人才，並提升整體調適能力。

(6) 增強脆弱群體應對氣候變遷衝擊的能力：分析和辨識易受氣候變遷衝擊影響的脆弱群體，並相應制定調適措施。

2. 領域調適行動方案及國家氣候變遷調適行動計畫

依據氣候變遷因應法 19 條規定，中央目的事業主管機關應就易受氣候變遷衝擊之權責領域，訂定四年為一期之該領域調適行動方案（以下簡稱調適行動方案），並依第五條第三項、第六條及第十七條訂定調適目標。

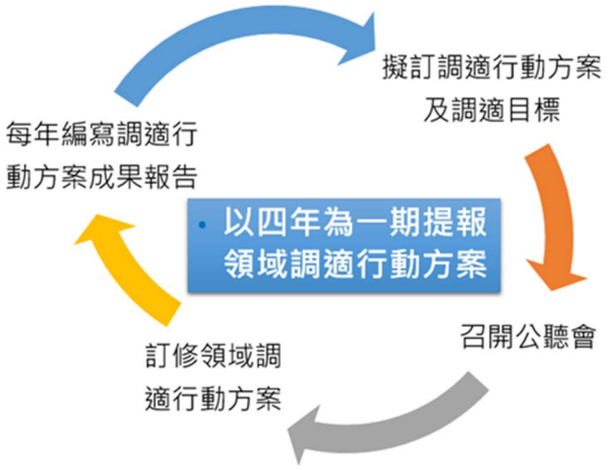
中央目的事業主管機關擬訂前項調適行動方案及調適目標，應邀集中央及地方有關機關、學者、專家、民間團體經召開公聽會程序後，訂修該領域調適行動方案，送中央主管機關。

中央主管機關應依行動綱領，整合第一項調適行動方案，擬訂國家氣候變遷調適行動計畫（以下簡稱國家調適計畫），報請行政院核定後實施，並對外公開。

第一項中央目的事業主管機關應每年編寫調適行動方案成果報告，送中央主管機關報請行政院核定後對外公開。

本法條主要規範易受氣候變遷衝擊權責領域之中央目的事業主管機關，定

期擬訂調適行動方案、完成公聽會程序及編寫調適行動方案成果報告，如圖 4.1.2 所示。



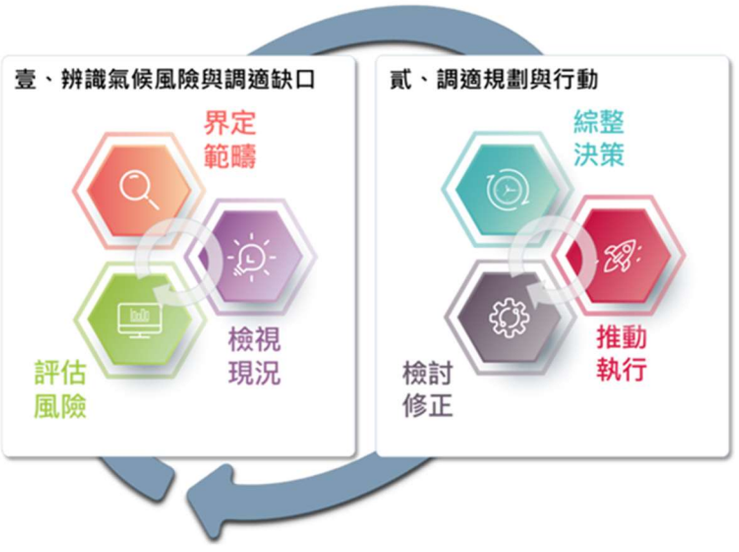
資料來源：本計畫繪製

圖 4.1.2 中央目的事業主管機關氣候變遷調適行動方案流程圖

領域調適行動方案及國家調適計畫，整體推動框架[59]設定區分為「辨識氣候風險與調適缺口」及「調適規劃與行動」等二階段，如圖 4.1.3。

(1) 第一階段：包含界定範疇、檢視現況、評估風險等 3 構面，做為調適規劃與行動之依據，若經辨識無調適缺口，第二階段不予執行。

(2) 第二階段：包含綜整決策、推動執行、檢討修正等 3 構面，並依第二階段推動情形，視需要再行檢視第一階段並滾動式修正。



資料來源：臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫

圖 4.1.3 國家氣候變遷調適行動方案推動框架

4.1.3 氣候風險評估概論

「辨識氣候風險與調適缺口」為領域調適行動方案及國家調適計畫整體推動框架之第一階段，包含界定範疇、檢視現況、評估風險等 3 構面，做為調適規劃與行動之依據，若經辨識無調適缺口，第二階段不予執行。運研所「公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2）」報告也指出，「風險辨識」及「風險評估」為運輸系統權責機關（構）人員最主要欠缺之氣候變遷調適能力之一，因此辨識氣候風險與調適缺口能力應納入課題重點。

專業領域或議題導向之氣候變遷風險評估，涉及大量專業領域知識技能，因此對運輸管理機關(構)人員在氣候變遷科學之調適基礎知能建構時，先以通識型概念，初步了解風險評估程序面之流程、步驟與目的，以及方法論之合理性與適用性，以達成第一階段辨識氣候風險與調適缺口之目標。中央目的事業主管機關在氣候法對風險評估之規範事項為：

氣候變遷法第 18 條第 2 項規定：「中央主管機關與中央科技主管機關應輔導各級政府使用前項氣候變遷科學報告，進行氣候變遷風險評估，作為研擬、推動調適方案及策略之依據。各級政府於必要時得依據前項氣候變遷科學報告，規劃早期預警機制及系統監測。」

同條第 3 項則敘明：「前項氣候變遷風險評估之作業準則，由中央主管機關會商有關機關定之。」

中央主管機關環境部目前正在研訂「氣候變遷風險評估作業準則」做為各級政府進行風險評估時之依據，此風險評估作業準則主要是提出程序面之規範，而非方法學的限制。一般而言，作業準則可分為詳細操作型和原則通用型兩種，環境部提出之氣候變遷調適風險評估作業準則，預期將採用原則通用型，其考量原因為：氣候變遷影響多元，包含屬性不同的七大領域，每個領域具有不同的氣候風險屬性及風險閾值，訂定統一的風險監測閥值或是衝擊檢測方式並不合適；另外，除各級政府調適方案研擬需求外，其他未於法律規範事項也會有風險評估及調適規劃需求，通用型作業準則可兼顧廣泛適用對象。因此各機關/單位可以各自訂定適合的操作細項規範或指引方法，以及必要的管考方式。

112 年環境部研擬之準則草案架構，暫定將分成四大章，其中第二章及第三章分別對應國家調適行動計畫框架第一階段及第二階段。整體風險評估作業準則之設計，除做為中央目的事業主管機關及直轄市、縣（市）主管機關進行

氣候法第 18 條氣候變遷風險評估時之規範，亦考量同時適用於各級政府進行其他氣候變遷風險評估及調適策略、政策或計畫等規劃目的使用。

此外準則草案內容除與氣候變遷風險評估直接相關之規定外，並設計各級政府依據風險評估結果，進行後續調適行動規劃之基本原則、程序與檢討修正機制。依據風險評估結果規劃後續調適行動之基本原則包括：

1. 設定預期滿足調適目標或缺口之調適策略、政策及計畫。
2. 設定調適策略、政策或計畫之執行期程。
3. 評估調適選項之有效性，如何解決氣候變遷風險評估成果的關鍵風險及是否可滿足調適目標或缺口，並提供額外效益。
4. 評估調適選項可執行性及落實性，包括檢視執行選項的法源依據、跨機關協作之行政制度及權責、預算需求、技術門檻及其他相關配合資源。
5. 準則草案朝向將氣候變遷風險評估定義為「實體風險評估」，不包含「轉型風險」。關於 AR5 定義之氣候風險評估三因子：「危害」、「脆弱度」及「暴露度」，僅給予名詞定義解釋，並不將下列 AR5 之風險評估公式做為準則評估公式。

$$風險 = f(脆弱度, 暴露度, 危害)$$

$$脆弱度 = f(敏感度, 調適能力)$$

除上述「氣候變遷風險評估作業準則」（草案）原則式定義之理解外，氣候變遷調適風險評估是既廣且深之專業，並且以運輸部門包含陸運、海運、空運，運具與設施變化組合複雜之情境，難有所有運輸形式都能適用的一致性作法。因此在風險評估之專業能力在於熟悉風險評估步驟，並對每一步驟所具備之背後意義、掌握可取得之資料來源，以及數據資料解讀與風險評估的不確定性。

氣候變遷風險評估是一個複雜的過程，需綜合考慮氣候變遷的多種影響因素，以及不同部門或軟硬體及社經行為之特定情況，有很多地區或機構有自行定義之風險評估步驟，如英國氣候變遷衝擊計畫（Climate Impact Programme, UKCIP）[60]提出的氣候變遷風險不確定性決策框架（Climate change risk-uncertainty-decision-making framework）與國際標準化組織（International Organization for Standardization, ISO）在 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）[61]，雖然基本概念類似，但在細

節執行上多少有些差異，共同原則包括：

1. 確定風險評估的範圍和目標，包括評估的時間範圍和地理範圍，以及評估的目的和使用者。
2. 收集氣候變遷和影響的相關資料和科學資料，例如氣象資料、溫室氣體排放數據、地形圖、生態系統結構、人口數據等。
3. 評估氣候變遷對環境、社會、經濟和文化方面的影響，包括極端天氣事件、海平面上升、水資源供應、生物多樣性、健康和社會動盪等方面。
4. 進行風險評估，包括評估不同影響因素的可能性和影響程度，以及評估不同部門、社區和產業的風險敏感性和容忍度。
5. 評估調適措施的效果，包括評估不同調適措施的成本效益、可行性和潛在的負面影響，以及評估調適措施的實施和維護成本。
6. 進行風險溝通和共識建立，包括與各方利益相關者進行討論和溝通，並為各方利益相關者提供關於氣候變遷風險和調適措施的教育和訓練。
7. 定期監測和評估風險評估的結果，以便在需要時進行調整和更新。

公路、鐵路、港埠及機場等運輸設施管理機關（構）人員，應充分對各自運輸設施瞭解可能造成衝擊的氣候變遷危害因子，參考聯合國歐洲經濟委員會氣候變化影響及交通網絡和節點調適專家組（The United Nations Economic Commission for Europe（ECE）Group of Experts on Climate Change Impacts and Adaptation for Transport Networks and Nodes）2020 年所提出之主要交通資產影響報告，各種長期漸近式氣候變遷（例如海平面上升）和累積效應，可能會導致運輸基礎設施損壞、營運中斷，如表 2.1-3 所示。

4.1.4 其他氣候變遷調適基礎知識

1. 因應氣候法之運輸法規修訂需求

法律與管理框架通常會是成功的調適策略最強有力的驅動力。氣候變遷調適可能有許多法律相關配套調整需求，因為法規工具除管制必須採取的積極主動的措施外，還可以進一步提供經濟激勵，為氣候變遷調適工作提供資金，促進調適技術的發展，因此運輸設施管理機關應主動認識調適相關法規，並檢討與運輸設施規劃、建設及營運之法規修訂需求。

國際上，交通基礎設施的氣候變遷風險評估和調適相關法規，規範進行環境影響評估時，必須確定、描述和評估項目各種開發行為變化的重大影響，其中也包括需考慮「氣候變遷」的影響。另在歐盟環境影響評估指令（Directive 2014/52/EU），規定具體要求評估的項目及「對氣候變遷衝擊的脆弱性」；根據該份指令文件，開發單位在選址時，需特別注意「因根據科學知識判斷，氣候變遷可能會造成的相關的重大事故或災難的風險」。

其次如美國加州 2016 年修訂之公共資源法案（PART 3.7. Climate Change and Climate Adaptation [71150 - 71155]），該法案提到氣候變化對加州的影響，指出「氣候變遷的影響在加州已經可以感受到，包括破紀錄的乾旱、野火、洪水、海平面上升、海岸侵蝕和熱浪。對於現在被認為是極端天氣事件的情況，未來也將不時出現，這些影響預計會進一步惡化。」此外，該法案指出「基礎設施的規劃和設計，必須將氣候變遷影響納入設計標準和規範。」因此，該修訂後的公共資源法案要求加州政府，「在規劃、設計、建設、營運、維護和投資國家基礎設施時，必須考慮氣候變化對當前和未來的影響」。

交通部組織法及交通部鐵道局組織法為符實際業務需求，分別修正第二條第八款及第一項第二款之掌理事項，納入與氣候變遷調適等工程之規劃、設計、施作及監督，即國內運輸相關法規展開修正的範例，修正案皆已於民國 112 年 6 月 7 日通過實施。因此人員對於調適相關法規基本認識與修訂需求，絕對是不可缺少的能力要項之一。國內外法規對配套法規調適需求，如表 4.1-1 所示。

表 4.1-1 氣候變遷調適納入國內外法規及規範

國際法規	我國法規
1. **歐盟環境影響評估指令（Directive 2014/52/EU）**，規定具體要求評估的項目及「對氣候變遷衝擊的脆弱性」。根據該份指令文件，開發單位在選址時，需必須特別注意「因根據科學知識判斷，氣候變遷可能會造成的相關的重大事故或災難的風險」 2. **美國加州 2016 年修訂公共資源法案（PART 3.7. Climate Change and Climate Adaptation [71150 - 71155]）**，該法案提到氣候變化對加州的影響，指出「氣候變遷的影響已經可以在加州感受到，包括破紀錄的乾旱、野火、洪水、海平面上升、海岸侵蝕和熱浪。 隨著未來不時會出現現在被認為是極端天氣事件的情況，這些影響預計會進一步惡化。」此外，該法案指出「基礎設施項目規劃和設計，必須納入針對氣候變遷影響的設計標準和規範。」因此，該修訂後的公共資源法要求加州政府「在規劃、設計、建設、營運、維護和投資國家基礎設施時，必須考慮氣候變化對當前和未來的影響」。	1. 氣候法第 17 條為「為因應氣候變遷，政府應推動調適能力建構之事項」，當中第 7 款為：「強化氣候變遷調適之教育、人才培育及公民意識提升，並推展相關活動。」 2. 氣候法第 18 條第 2 項則為：「中央主管機關與中央科技主管機關應輔導各級政府使用前項氣候變遷科學報告，進行氣候變遷風險評估，作為研擬、推動調適方案及策略之依據。各級政府於必要時得依據前項氣候變遷科學報告，規劃早期預警機制及系統監測。」 3. 氣候法第 19 條第 1 項：「中央目的事業主管機關應就易受氣候變遷衝擊之權責領域，訂定四年為一期之該領域調適行動方案（以下簡稱調適行動方案），並依第五條第三項、第六條及第十七條訂定調適目標。」 4. 交通部組織法修正了第 2 條第 8 項規定，其掌管業務包含「交通領域之氣候變遷調適及溫室氣體減量政策之推動」。 5. 交通部鐵道局組織法為符實際業務需求，於第 2 條第 2 項之掌理事項納入與氣候變遷調適等工程之規劃、設計、施作及監督，即國內運輸相關法規展開修正的範例。

資料來源：本計畫整理

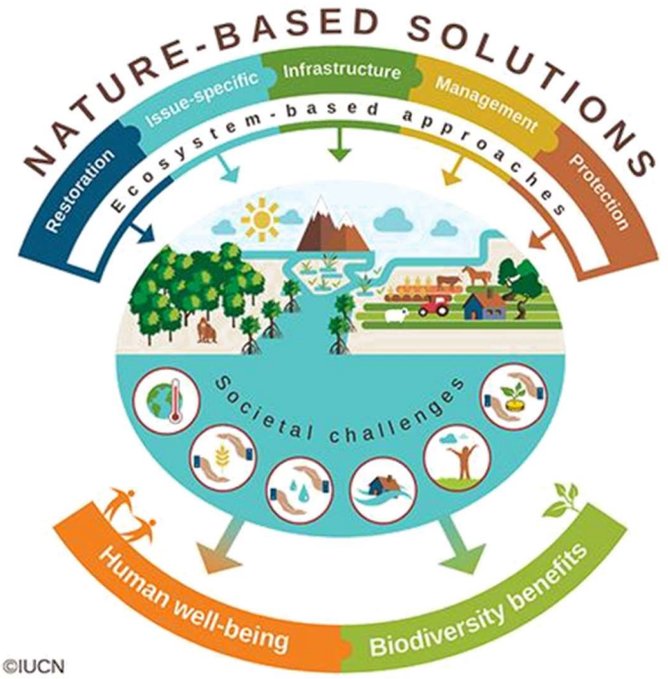
2. 瞭解自然為本解決方案 NbS 之應用及限制

自然為本解決方案（Nature-based Solutions, NbS）最早由國際自然保育聯盟（The International Union for Conservation of Nature, IUCN）提出，並定義「可有效、能調適的應對社會挑戰，同時提供人類福祉和生物多樣性效益，為永續管理和恢復自然或改造的生態系統的保護行動」，IPCC 在氣候變遷第六次評估報告第二冊「衝擊、調適與脆弱度」（AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability）[14]中，提醒氣候變遷不僅影響生態物種，更危及

人類社會的糧食、水資源、健康及都市發展，NbS 是生物多樣性公約的基礎，旨在保護或恢復自然以支持傳統建造的基礎設施系統，並可以減少災害風險並提供更具彈性和成本更低的服務。根據 2020 年「全球永續」(Global Sustainability) 期刊[62]，在 168 個簽署聯合國綱要公約之國家自定貢獻或氣候承諾的國家中，已有近 2/3 的「巴黎協定」簽署國，將 NbS 納入國家氣候調適與減緩計畫。

自 2012 年至 2023 年，世界銀行已核准超過 200 個 NbS 相關計畫，金額合計超過 100 億美金[63]，並開發一個知識庫，通過各種案例研究、指導說明和指南讓 NbS 成為主流，旨在加強對自然資源的保護的瞭解，例如通過植被穩定斜坡、壘石護坡和紅樹林進行海岸保護，以及有效的排水，同時提高交通基礎設施和社區的恢復力。

因此運輸設施管理機關、專業人員和學術界都應瞭解 NbS 的概念，並與利益相關者交流和宣導 NbS 解決方案的好處。NbS 需要各機構部門之間的協調。而整合 NbS 的運輸政策管理需要採用更全面的方法，並與包括水利部門、環境專家和當地居民在內各種參與者進行溝通協調，NbS 概念框架[64]如圖 4.1.4。



資料來源：Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. and Maginnis, S. (eds.), Nature-based Solutions to address global societal challenges. Gland, Switzerland (2016)

圖 4.1.4 自然為本解決方案概念框架

3. 工程財務規劃概念

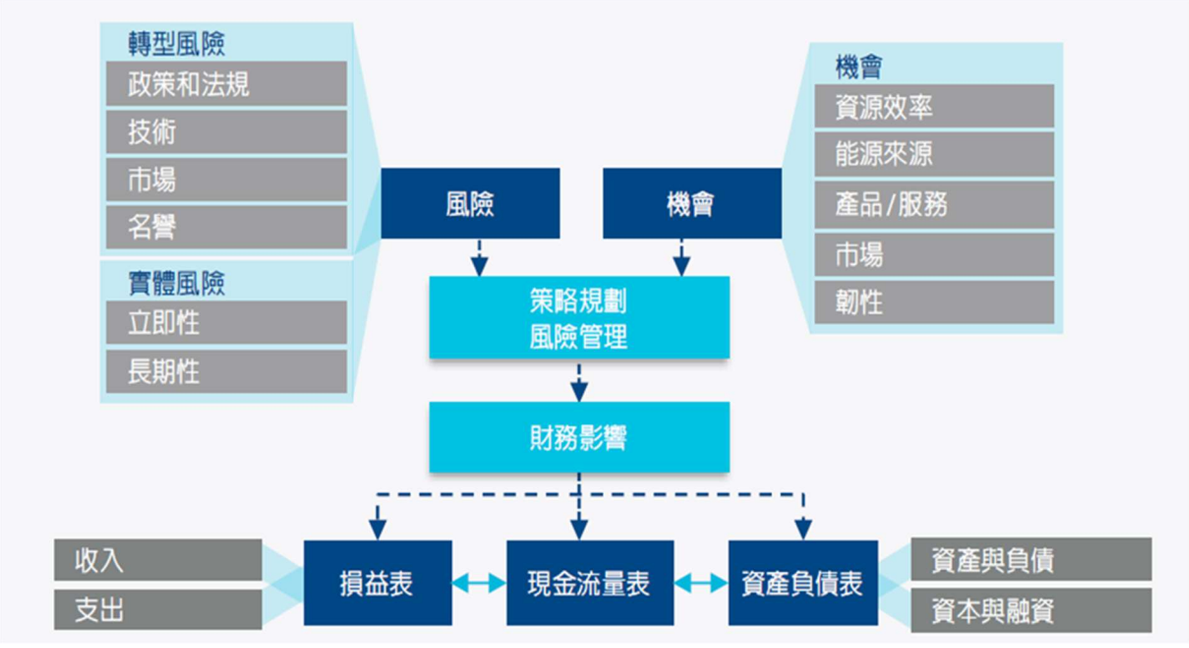
運輸設施工程規劃設計在納入調適措施時，可能導致需要在原工程經費外

再額外投入巨額的資源，在有限資源分配下，如何合理分配資源，是執行運輸設施針對調適進行工程財務規劃的重點。

(1) 氣候相關財務揭露（Task Force on Climate-related Financial Disclosures, TCFD）[65]

氣候變遷所帶來的威脅、問題的規模及長期性帶來前所未有的挑戰，在經濟決策尤其更加明顯，風險資訊不充分可能導致錯誤的資產定價和不當的資源配置，為協助投資者與決策者瞭解組織重大風險，TCFD 可用於更準確評估氣候相關之風險與機會（如圖 4.1.5）。

基本上，氣候相關議題對組織的財務影響受到兩個面向的驅動：組織面臨的特定氣候相關風險與機會；組織在管理風險（減緩、轉移、接受或控制風險）及掌握機會的過程中，所採取的策略和風險管理決策。



資料來源：「氣候相關財務揭露建議」中文版，2019

圖 4.1.5 氣候相關風險、機會和財務影響

氣候變遷相關風險對財務之影響實例，如颱風、洪水等極端天氣事件嚴重程度提高，對潛在財務影響為造成產能下降或中斷（如停產、運輸困難、供應鏈中斷）；氣候相關機會及財務影響的實例，如採用更高效率的運輸方式，潛在財務影響為降低營運成本（如透過提升效率和降低成本）。

有效揭露的基本原則包括：

原則 1：揭露相關的資訊

原則 2：揭露資訊應具體且完整

原則 3：揭露應清楚、平衡並容易理解

原則 4：揭露應具有連貫性

原則 5：同一部門、產業或投資組合的揭露資訊應具有比較性

原則 6：揭露資訊應客觀、可靠並可經查證

原則 7：資訊應即時揭露

(2) 利用保險或其他金融措施達到調適需求[66]

可以依據保險風險管理價值鏈的步驟進行合作，包括：風險辨識及分析（Risk identification and analysis）、風險預防及降低（Risk Prevention and reduction）、風險移轉（Risk Transfer）等三方面。

① 風險辨識及分析：風險辨識及分析是風險管理最重要的核心工作，其中資料收集是基礎工作，因此，開放資料（Open data）及公開的危害模式模擬（Hazard Modelling）之提供，有利於提升國家或區域風險管理。從保險專業領域的風險評估角度出發，協助建立標準化資料收集方式及內容，可改善其分析品質。

② 風險預防及降低：降低氣候變遷所致之風險，減緩及調適就是其因應作法，可藉保險提高其推動誘因。

③ 風險移轉：在適切法律架構下，透過一系列風險管理工具開發，改善其可取得性與負擔能力。這些風險管理工具包含了專為低所得和脆弱族群，以及專為低排放的能源生產、運輸、土地使用和能源效率專案所提供的保險。

(3) 盡可能在預算經費上，呈現氣候變遷風險相關業務項目

為利於統計投入調適工作的經費及對調適投入的成本與效益評估，因此在編列預算時，各相關運輸設施管理機關均應盡可能讓預算經費上標示與氣候風險相關項目。

4.2 運輸管理機關（構）調適進階能力

國內各個領域推動氣候變遷調適工作目前還在初期階段，雖氣候變遷法已有調適專章及條文，但施行細則尚未公告，而實務調適工作需要有明確執行規

範或指引讓各運輸系統權管人員依循，因此運輸管理機關（構）執行調適工作時所需使用的工具或執行方法，如氣象資料解讀、氣候變遷風險評估準則及執行程序、融入調適時機，以及調適指引應用、高度不確定性之決策方法等，為運輸管理機關（構）人員亟需具備之調適進階能力。

4.2.1 氣象資料解讀

氣候變遷涉及包括溫度、降水、風速和風向、濕度等多種非常多氣象因子，以及長期氣候變化的趨勢，氣候變遷還有高度不確定性，分析結果具有多種可能，但分析結果具有不確定性。在氣候變遷研究中有許多科學的不確定性，但運輸管理機關(構)面對氣候變遷要採取行動時，就必須了解與掌握不確定性。

1. 氣候變遷模型及不確定性

氣候變遷模擬主要依賴於一系列的氣候模型。這些模型大致可以分為以下幾類：

(1) 全球氣候模型（Global Climate Models, GCMs）：這些是最全面的模型，用於模擬整個地球系統的氣候變化。它們涵蓋大氣、海洋、陸地表面和冰蓋的相互作用。

(2) 地區氣候模型（Regional Climate Models, RCMs）：這些模型聚焦於特定地區的氣候，提供更高分辨率的資料。它們通常用於研究特定區域對全球氣候變化的反應。

(3) 地球系統模型(Earth System Models, ESMs)：這些模型是 GCMs 的擴展，不僅包括氣候系統，還包括生物地球化學循環（如碳循環），提供更全面的地球系統變化模擬。

(4) 統計氣候模型：使用歷史氣候數據進行統計分析，預測未來的氣候變化。這些模型通常用於特定應用或輔助其他模型的解釋。

(5) 簡化氣候模型：這些模型減少了計算的複雜性，快速估算氣候變化的影響，適合用於教育和初步政策分析。

(6) 集成評估模型（Integrated Assessment Models, IAMs）：這些模型結合了氣候科學、經濟學和社會科學，用於評估氣候變化的經濟和社會影響，以及減緩和調適策略的成本效益分析。

每一類模型都有其獨特的應用和限制性。全球氣候模型提供了全面的全球變化圖景，地區模型專注於局部詳細情況，而統計模型和簡化模型則在特定情況下提供更快速的分析。地球系統模型和集成評估模型則提供更全面、跨學科的視角。這些模型的選擇取決於研究的具體需求和目的。

2. 空間解析度

考量電腦模擬能力，模擬結果之空間解析度與研究所需空間尺度往往不同，所以需要應用降尺度技術進行資料轉換，然而，不同降尺度方法也可能帶來不確定性。

因此，如何解讀以上氣候變遷模式資料，轉化取得運輸系統在規劃、設計或維運階段所需時間或空間解析度下的各項氣象因子資訊，需要氣象專業人員引導協助。

4.2.2 氣候變遷風險評估執行程序

我國氣候變遷風險評估準則尚未公布，參考「ISO 14091 氣候變遷調適－脆弱度、衝擊與風險評估指引」，該標準雖有說明如何執行氣候變遷風險評估，但在執行氣候變遷風險評估的過程中，仍存在許多需要執行人員或決策者進行決策的關鍵決策須執行，例如：

1. 確定評估範圍和目標：決定評估將聚焦的具體地區、系統或問題，以及主要的評估目標。
2. 選擇合適的模型和方法：根據評估的目標和可用資源，選擇最適合的氣候模型和風險評估方法。
3. 確定數據來源：選擇和決定使用哪些數據來源，可能來源包括衛星數據、氣象站記錄、海洋數據等。
4. 風險和脆弱性評估的方法論：決定如何評估特定地區或系統的風險和脆弱性。
5. 確定重點關注領域：根據初步評估，決定需重點關注和深入研究的領域。
6. 參與利害相關者：決定哪些利害相關者應該參與這一過程，以及他們的參與方式。
7. 溝通和報告策略：決定如何向利害相關者和公眾溝通風險評估的結果。

這些決策通常需要跨學科的合作，包括氣候科學家、風險管理專家、政策制定者、社區代表和其他利益相關者。決策過程應該基於最佳可用科學和全面的風險分析，並考慮到社會、經濟和環境因素，這些並非目前運輸機關（構）人員已具備的能力，也缺乏足夠執行案例可依循，需要以運輸機關（構）的案例情境，逐項說明氣候變遷風險評估的執行程序。

4.2.3 各階段工作融入調適措施時機與要點

運輸系統是非常專業複雜的系統，且雖然因公路、鐵路、港埠及機場系統設施與營運特性的差異，有各自從策略規劃至最終端設施維護與營運的工作階段，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」[67]，揭示應將調適的概念主流化，融入組織的政策、計畫與流程裡，有利整體調適效益之提升，因此如何在各階段工作融入調適措施時機與要點成為運輸系統權管人員需擁有的能力。各運輸系統整體規劃與營運基本的工作階段如：

1. 策略規劃和目標設定：確定運輸系統的長期目標和策略，包括制定規劃目標、政策方向和發展藍圖等。
2. 系統設計和技術規劃：設計運輸系統的基礎架構，包括路網、交通工具、訊號系統等。
3. 財務規劃和資金籌集：計畫所需的資金和投資，包括預算編制、資金來源和投資效益分析。
4. 環境影響評估：評估計畫對環境的影響，包括生態影響、碳排放、噪音和空氣污染等。
5. 設施建設施工：實際建造運輸系統的基礎設施，包括道路建設、軌道鋪設、設施建設等。
6. 營運管理和維護：運輸系統的日常營運管理，包括調度、維護、客戶服務和安全管理。

以上工作可能各自涵蓋系列的執行流程或組合為更為整體的流程，如何在目前執行流程中的適當時機加入哪一個調適工作是將調適主流化的重點，必須協助運輸單位了解並建立融入調適措施時機與要點，在適當時間點將正確的調適工作項目納入，以確保能達到提升整體調適效益的目標。

4.2.4 面對高度不確定性之決策方法

在氣候變遷調適決策過程中，面臨的高度不確定性來自以下幾個方面：氣候模型的預測不確定性、人口及土地利用之變化等社會狀況、地區差異和地理影響、社會經濟因素、政策和制度的不確定性及人類行為和文化因素等，會造成決策人員難以選擇作成決定，因此需要了解「不確定性下的決策概念」[68]。

考量未來有多種可能性的情況下的決策過程通常具有以下特性：

1. 以「無悔或低悔策略（no or low regrets）」凝聚共識。
2. 持續監測觸發點（trigger points）並擬定因應行動。
3. 採取不確定性的概念規劃未來。

氣候變遷調適決策採取「在高度不確定性之下的決策方法」（Decision Making Under Deep Uncertainty, DMDU）[69]，有助於在不確定性高之風險管理背景下制定決策。DMDU 的 3 種方法包含情境規劃（Scenario Planning）、調適路徑（Adaptive Pathways）及穩健決策（Robust Decision Making），這種方法的主要優點包括鼓勵創建能夠在多種未來情況下有效的決策方案，提高系統或組織在面對不確定和變化時的彈性和調適能力，決策者考慮整個系統的相互作用和動態，有助於理解複雜系統的行為和潛在的長期影響，因此面對高度不確定性之決策方法為運輸管理機關（構）調適進階能力須建構的能力，也在「公路系統規劃階段調適指引」中被列為公路系統規劃階段須強化之調適能力。

4.2.5 調適案例分享

鑒於國內運輸單位執行調適工作經驗有限，特別需要經由案例分享，由運輸機關或其他機關提供執行方法與心得，供運輸機關（構）人員交流學習。是從調適案例分享中可以學到的包括：

1. 實施經驗：從實際案例中學習，可以提供具體的操作經驗和實施策略，這些是理論學習難以提供的。
2. 避免過去的錯誤：了解其他案例中的失敗和挑戰，有助於避免在類似情況下重蹈覆轍。
3. 跨領域學習：調適案例常常涉及跨領域的知識和技能，這有助於擴展視野和提高跨學科合作的能力。

4. 促進政策制定：成功的案例可以為政策制定提供依據，尤其在新興領域或缺乏先例的情況下尤為重要。

5. 強化溝通和合作：分享和討論調適案例有助於建立專業網絡，促進各方之間的溝通和合作。

4.3 運輸系統領域調適專業知能

公路、鐵路、港埠及機場四種運輸系統在系統營運和維護各有其特定的營運模式、需求和挑戰，所面臨的氣候風險項目也不盡相同，因此在氣候變遷調適計畫之規劃、研擬與推動，涉及各式專業領域評估或推估，需建構在一定程度的假設之上，其相關數據蒐集、資料判讀及可行解決方案提出時，都應是由各自運輸系統各自提出，因此需建構各運輸系統領域調適專業知能。以下就公路、鐵路、港埠及機場四大系統運輸系統領域在氣候變遷下面臨的災害，依據不同災害形式分別探討調適能力知能需求[70]。

一、公路系統

（一）可能面臨的氣候災害

1. 洪水與沖刷

公路系統最直接氣候衝擊影響是強降雨，可能導致因視線受阻而引發交通擁堵或行車事故，路面有過多的自由水也可能引起能導致車禍的水滑作用（hydroplaning），而當降雨量/降雨強度大幅超過區域排水或公路排水系統的負荷時，便有發生局部淹水或洪水的可能，淹水直接造成的影響是公路系統的阻斷，在都會地區則有可能造成車行地下道或地下軌道系統的水災。

水災發生時，長時間浸泡在水中的鋪面與路基土壤會加速劣化，湍急的洪水則會進一步造成鋪面的損壞及路基的沖刷或掏空；河川洪水容易造成橋墩沖刷，此外亦可能因洪水流向發生改變而造成堤防或陸地的土石沖刷，洪水亦可能夾帶大量土石及漂流木，不僅阻礙通水斷面並衝擊堤防，也易造成堤防及橋梁構造物受損，另在洪水量過大或河床堆高時，水流會對橋面版產生強大之側向力及升力而影響橋梁穩定性。

頻繁的降雨使得空氣中溼度增加，過高的溼度對公路橋梁及隧道結構體也會造成負面的影響。

2. 滑坡與落石

雨水藉滲漏或經由岩土縫隙進入地表後會直接增加岩土含水量，可能提高區域地下水位，使岩土含水量過高，這會影響公路、橋梁及隧道的結構完整性，導致結構體既有瑕疵加速劣化。

含水量過高會增加岩土單位重量，邊坡擋土牆可能因此承受超過設計的壓力而破壞，過高含水量也可能降低岩層間的摩擦力而引起道路邊坡坍方或岩石崩落，若洪水大量夾帶這些崩落的土石甚至可能對河川周邊居民及公路系統造成更具破壞力的土石流。

雨水藉滲漏或經由岩土縫隙進入地表後會直接增加岩土含水量，也可能提高區域地下水位，過高的岩土含水量可能導致更嚴重的車轍（與極端高溫類似），也可能造成道路基底材料加速劣化，而地下水位過高則可能造成路基土壤弱化，使得路基承載力不足而衍生鋪面破壞。

3. 高溫與乾旱

高溫乾旱對市區道路植栽景觀有一定壓力，需要花費更多的維護成本維持，而高溫乾旱也容易引發森林火災，可能對公路或其他陸上運輸系統產生直接威脅，也可能因濃煙導致可視距離的大幅降低。

許多研究顯示長期的極端高溫或乾旱對公路鋪面有及不利的影響，例如路基下陷及瀝青混凝土鋪面因高溫而發生的軟化，軟化的鋪面在重載交通下容易產生車轍變形，車轍問題在平均氣溫大致維持在 32℃以上時便可能發生，而車輛在軟化的鋪面上行走也容易衍生鋪面破裂。

一些交通工程設施可能在氣溫超過 38℃以上時因過熱而發生故障，極端高溫也可能造成橋梁伸縮縫過度膨脹，造成橋梁行車不順及維護費用提高等問題。

4. 道路劣化

以瀝青混凝土鋪面為主的柔性鋪面，對氣候因素較為敏感，高溫與高交通量對處於潮濕狀態的鋪面所造成的傷害較為顯著。極端氣候對鋪面劣化通常是加速及加劇影響。原則上瀝青混凝土為恐水性材料，水氣可能造成瀝青膠泥與粒料剝離。

高強度或大量的降雨，造成路面逕流及高地下水位，可能加速剝脫的發生；高溫會加速瀝青混凝土鋪面因瀝青膠泥老化而衍生各種破壞。

水泥混凝土為表面細緻、無連通孔隙且質地堅硬的材料，其物理性質也較不受高溫環境的影響，相對而言剛性鋪面對極端氣候有較佳的適應力。然而自由水可以經由裂縫滲入混凝土中，除會導致破裂面加速風化外，也會造成鋼筋鏽蝕並衍生更大的破壞，因此多雨潮濕的環境對剛性鋪面有較大的負面影響。橋面版塊通常為混凝土版塊，極端高溫也會造成版塊接縫膨脹量增加，對橋梁運行產生負面影響，也會衍生維護成本的增加。

5. 海平面上升

海平面上升直接影響的是海岸線附近的公路系統，沿海的公路系統結構易受鹽分影響而較容易劣化，海平面上升將使這種劣化情況更為加速，尤其是沿海地區的橋梁結構。

海平面上升將導致通過地勢低窪地區的公路及過海隧道的入口，都可能因此而被海水淹沒；海平面上升也會造成沿海地區地下水位上升，亦將影響公路路基及公路整體承載能力。此外，海平面上升會導致跨海大橋的梁底淨高變小，在船隻通過時可能因淨高度不足而發生潛在危險。

（二）應具備之氣候變遷調適領域知能

公路系統面臨的可能的氣候災害，首先要了解建立道路設施安全性之風險評估方法學或架構，以期能在整體路網規劃時，納入脆弱度及氣候衝擊風險評估。亦應了解防減災和調適的差異，結合預報資訊的使用，以調整原有預警系統、更新氣候變遷風險地圖，確保通往醫院、避難設施及分發醫療物資之道路暢通；了解如何辨認公路交通的脆弱群體，以規劃平等的韌性交通；在道路設計和建設上，應了解更多先進的材料，在材料的選擇要考慮在極端天氣衝擊下更耐用或環境友善設施；了解不同工法，包括軟性（soft）、綠色（green）及灰色（grey）工法在不同地區、環境的應用案例；了解如何建立跨運輸系統的運輸連結關係地圖與策略，並加強跨域交流等。

二、軌道系統

（一）可能面臨的氣候災害

1. 淹水造成基礎設施損壞與車站關閉

淹水問題主要與暴雨及受限的排水系統容量有關，即使是小量的暴雨增加量，也可能需要針對排水系統進行顯著的改善，方可維持與目前相同的服務水準。

在氣候變遷下，預期暴雨事件的發生將更趨頻繁，強度也將更強，發生突發淹水事件的風險將因而增加，並改變水災分佈區位及增加淹水和泥石流的機率，並可能導致軌道關閉，影響列車服務的運行，使得系統服務中斷。

2. 強風造成基礎設施損壞和行車安全

極端風暴中的強風可能導致樹木倒塌、電纜斷裂及其他碎片物飛入軌道區域，損壞軌道設施，甚至列車翻覆，對列車和乘客安全構成威脅。電纜斷裂可能損壞電力供應系統，導致軌道系統的停電，對列車運行和信號系統造成影響，通訊設施也可能受損，使營運人員難以進行必要的協調和控制，增加事故風險。

3. 高溫氣候使基礎設施損壞

高溫可能導致變形鋼軌數量增加，在無適當對應策略下，限制行駛速度或車輛延滯在極端高溫下，發生機率將因此提高。

4. 高溫影響軌道系統乘客舒適性

在空氣流通設計不佳的車廂或站體，站內溫度可能較地面環境溫度更高，這會是影響乘客舒適性的重要影響因素。而高溫可能造成之軌道系統故障或延滯，導致的過度擁擠，都將進一步加劇高溫造成的問題。

（二）應具備之氣候變遷調適領域知能

軌道系統面臨的可能的氣候災害，首先要了解軌道及相關設施（特別是電力供應及通訊設施）安全性、建立風險評估方法學或架構，以期能在整體維運規劃時，納入脆弱度及氣候衝擊之風險評估；了解防減災和調適的差異，結合預報資訊的使用，以調整原有預警系統及防災措施，改善危害通訊流程；了解如何繪製鐵路基礎設施及軌道脆弱度地圖、提供使用者的風險地圖；在軌道和車輛的調適韌性上，應了解如何改進軌道、供電系統和車輛的設計，使其能夠應對高溫、極端降雨和風暴；了解如何建立跨運輸系統的運輸連結關係地圖，並與鐵路公司及營運商共同研擬極端事件應變計畫；了解生命週期成本分析，以規劃替換脆弱度高之資產等。

三、港埠系統

（一）可能面臨的氣候災害

1. 極端風暴可能導致港口遭受重大破壞並影響航運安全

氣候變遷會造成氣溫和海水溫度提高，導致強烈颱風增加與巨浪發生，伴隨颱風的極端風暴可能導致港口遭受重大破壞，包括碼頭結構、貨物儲存區和設施設備的損害。此外，極端風暴導致強風、能見度下降和碼頭設施受損，也使得船隻操作風險增加，例如發生靠港船舶因斷纜而漂移，碰撞其他船舶；或航行船舶因海象不佳、天候惡劣，失去動力或擱淺等海事、海難案件發生。

2. 暴雨和洪水造成基礎設施損壞並影響港口設施營運

極端豪雨可能導致陸地區域的洪水，這可能使港口區域充水，影響貨物運輸和港口設施營運。

3. 極端高溫可能對港口設施的設備造成損害，並增加工人熱應力風險

極端高溫可能對港口設施的設備和基礎設施造成損害，例如碼頭結構和船舶裝卸設備。高溫還可能對工人和船員的健康產生不利影響，增加熱應力風險。

4. 乾旱缺水可能影響港口的營運和活動

持續乾旱可能導致港口附近的水源短缺，這可能影響到港口的營運管理、卸貨和貨物存儲。缺水情況可能會影響港口供應鏈的永續性，尤其是在需要大量水的事務中，例如船舶清洗和冷卻。

5. 海平面上升加增波浪對結構或設施的破壞

氣候變遷會除了造成的海面水位上升，進一步造成高潮偏差擴大和波浪強大化，濱海區也會因海面水位上升造成岸線退後、波浪高度增大造成海岸侵蝕嚴重，堤岸和護岸會因水深擴大和波浪力量增強造成安全性下降，這些影響可能對港口的碼頭、堤壩、船舶裝卸設備和倉儲設施造成嚴重損害。另海面水位上升和波浪力量增強會造成淹水範圍擴大。

（二）應具備之氣候變遷調適領域知能

港埠設施面臨的可能的氣候災害，首先要了解及建立港埠設施及船舶運作安全性與風險評估之方法學或架構，以期能於檢討及更新港口整體營運持續計

畫時，納入氣候變遷風險評估；了解防減災和調適的差異，結合預報資訊的使用，以調整原堤防和防波堤建設，以應對風暴引起的海浪和海平面上升益發嚴重的衝擊；了解在因應氣候變遷衝擊下，國際港口的安全標準的更新，以確保船舶可以安全進出港口，即使在惡劣天氣條件下也能夠應對；了解在乾旱狀況下，港口營運和活動的因應對策；了解如何建立跨運輸系統的運輸連結關係地圖，船舶管理機構與港務公司共同研擬極端事件應變計畫，以及製作風險地圖，加強地方政府及鄰近社區之應變能力；了解因應氣候變遷之生命週期成本效益分析，將評估結果納入港埠規劃之參考等。

四、機場

（一）可能面臨的氣候災害

各機場運量、容量及所提供的服務皆不盡相同且複雜，機場之基礎設施包括跑道、滑行道、停機坪、聯外道路、橋梁，以及能源、通信與安檢系統等設備；此外航空公司、地勤業者與承租商等投資與設備皆需要受保護。而這些資產皆有可能受氣候變遷影響，如高溫、強降雨、颱風與風暴、以及風向改變和極端氣候等。表 4.3-1 為依據 Airports Council International Europe 協會於 2017 年提出之 Airport ownership, economic regulation and financial performance 中機場氣候災害整理，表中依據設施端與營運端整理出可能受氣候衝擊項目，是進行初期風險辨識之有效工具。

（二）應具備之氣候變遷調適領域知能

機場設施面臨的可能的氣候災害，首先要了解及建立機場運作安全性與風險評估方法學或架構，以期能檢討整體設施及航空交通管制流程規劃時，納入氣候風險評估方法；了解防減災和調適的差異；結合預報資訊的使用，了解氣候變遷下風速風向的改變趨勢、極端溫度上升的時空分布及降水型態改變，對飛行操作、安全起降、跑道和停機坪的可能影響及因應措施；了解國際航空潛在極端氣候事件於緊急飛行計畫中，交通管制程序的更新；了解在氣候變遷下災害下，整建機場跑道，針對跑道長度、方向及週邊設施如何進行必要之調整；了解如何制定機場緊急應變計畫及風險地圖；了解如何透過跨交通運輸合作確保多樣化機場聯外大眾運輸系統暢通等。

表 4.3-1 機場可能受氣候災害的衝擊

機場 可能面臨氣候災害	海平面上升	風暴強度增加	溫度變化	降雨改變	結冰條件改變	風向改變	荒漠化
基礎設施							
空側（包括跑道、滑行道和停機坪）							
鋪面結構的損壞和惡化	○			○	○		○
鋪面表面毀損	○	○	○	○	○		○
增加鋪面表面的污染（雪、冰、水）	○	○	○	○	○		
排水能力	○	○		○	○		
電力照明系統	○	○	○	○	○	○	○
航站和陸側基礎設施							
阻礙聯外運輸、流通、裝載和停車	○	○		○	○		
建築物和結構受損	○	○	○	○	○		
地面基礎破壞	○			○	○		○
支援設備、助導航設備、燃料儲存和其他							
惡化的設施和設備	○	○	○	○	○		○
導航和衛星信號失真			○				
增加維修、修復和全面檢查	○	○	○	○	○	○	○
電氣系統故障/短缺	○	○	○	○	○	○	○
火災風險增加（噴氣燃料的燃點大約為 100°F）			○				○
服務、維修和經營							
飛機操作							
跑道長度需增加，以因應在較高環境溫度下，飛機昇力或推力降低			○				○
降低爬升率和增加燃料消耗			○				
需要改變飛行路徑（進場路線、降落和起飛）		○	○			○	
增強的亂流		○	○			○	
能見度降低		○		○		○	○
飛機損壞的可能性（結構、航空電子設備等）	○	○			○	○	○
更多的維修、修復和全面檢查	○	○	○	○	○	○	○
除冰的需求		○	○		○		

表 4.3-2 機場可能受氣候災害的衝擊（續）

機場 可能面臨氣候災害	海平面上升	風暴強度增加	溫度變化	降雨改變	結冰條件改變	風向改變	荒漠化
空中/地面導航管制							
能見度降低		○	○	○		○	○
通信系統故障率提高		○		○			
野生動物危害管理							
生態系統的變化，以及野生動物和植物的分佈	○		○	○		○	○
野生動物襲擊的風險增加			○			○	○
緊急應變管理							
與氣候相關的緊急情況	○	○	○	○			○
使用機場做為庇護所或救濟行動中心	○	○					
其他機場營運方面							
乾旱導致水資源減少			○				○
增加供暖、通風及空調的需求和時間			○				○
延誤和航班取消	○	○	○	○	○	○	○
環境管理							
改變噪音排放模式和居民投訴增加		○	○			○	○
生態系統和相關風險的變化	○		○	○			○
空氣品質惡化			○				○
員工和乘客							
與熱相關的健康風險			○				○
旅遊方式的變化	○	○	○	○			○
傳染病和流行病的風險	○		○	○			○

資料來源：Airport ownership, economic regulation and financial performance, 2017，本計畫整理

五、跨系統整合

運輸系統氣候變遷調適能力除各個系統本身強化其調適能力外，不同運輸系統相互支援和跨系統聯繫能提高整體運輸網絡的韌性，如建立一個多模式的運輸系統，使不同運輸系統（公路、軌道、港埠和機場）能夠在必要時互補和替代，當某一運輸系統受到氣候衝擊時，其他系統可以提供替代選擇，不同運輸系統之間也可透過共享資訊（如天氣預報、交通流量和災害應變計畫）提高氣候韌性，因此須建立的跨系統整合能力。可透過落實執行運輸系統氣候變遷

調適策略措施中對跨系統整合之措施及重點，並輔以跨系統整合執行案例，讓調適相關工作人員掌握本項措施的實務執行方法。跨系統整合在運輸系統氣候變遷調適四大策略有相關的措施，如在策略一「提升衝擊耐受力」中措施 1-5 強化跨運輸系統的運輸連結性，策略二「強化預警應變力」中措施 2-1 建構跨運輸系統預警應變網絡。

1. 運輸系統氣候變遷調適策略措施對跨系統整合之措施及重點

在調適策略一提升運輸系統在氣候變遷下的衝擊耐受力，措施 1-5 為強化跨運輸系統的運輸連結性，各設施權責機關（構）應強化以下連結性：

(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

在調適策略二強化預警應變力，措施 2-1 為建構跨運輸系統預警應變網絡，各設施權責機關（構）應強化以下連結性：

(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資訊傳遞

(4) 進行天氣事件衝擊機率研究

2. 跨系統整合執行案例

上述策略措施雖已提出應實施之措施及重點，但對執行人員仍應輔以執行案例說明以強化執行能力，例如國內案例「台 17 線林邊嗄仔口橋積水道路封閉改走替代道路」，或國外案例如歐盟「氣候變遷對運輸網絡和節點的影響及調適（Climate Change Impacts and Adaptation for Transport Networks and Nodes）研究」[9]，提供氣候變遷影響引起的運輸網絡中斷可能對經濟產生的負面影響，以及未來氣候變遷和調適規劃間的相互聯繫，以建構更具韌性的運輸基礎設施及營運環境。

在運研所「公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2）」報告之「公路系統規劃階段調適指引」，亦提出「公路跨其他運輸系統調適介面整合機制」，除說明公路系統之間及公路跨其他運輸系統處之強化調適介面，包括：

(1) 軌道：可細分為高鐵系統與臺鐵系統，跨公路系統之介面為各高鐵與臺鐵車站的聯外道路。

(2) 機場：以國際機場為探討對象，跨公路系統之介面為各國際機場的聯外道路。

(3) 港埠：以國際商港為探討對象，跨公路系統之介面為各國際商港的聯外道路。

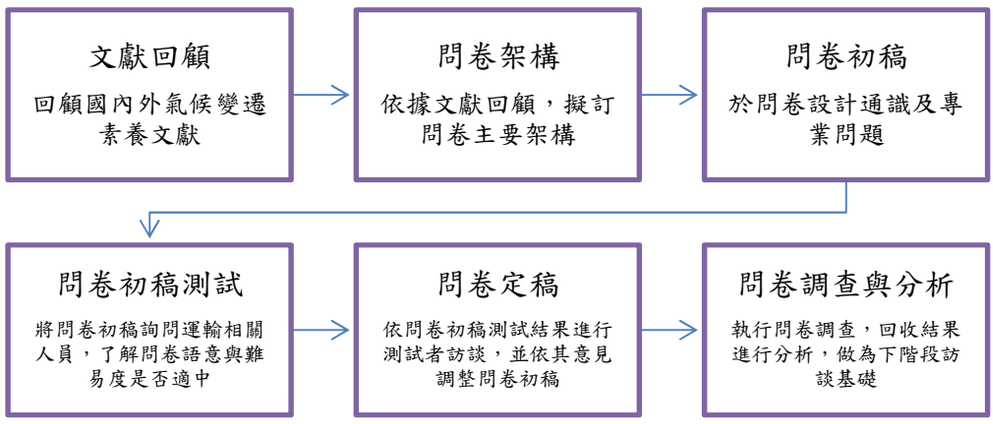
調適指引以公路系統為例，舉出各階段作業中跨其他運輸系統調適介面整合機關單位包括跨運輸系統之主管機關、水利機關、氣候資料提供機關等。

第五章 規劃氣候變遷調適專業知識課程

依據 2023 年 2 月 15 日公布施行之「氣候變遷因應法」第 17 條「為因應氣候變遷，政府應推動調適能力建構之事項」，且因國際氣候變遷及調適發展迅速，為提升運輸管理機關（構）人員對於所屬設施面臨氣候變遷之專業能力，規劃辦理調適專業知識課程。為符合運輸管理機關（構）人員知能現況，以設計所需課程，因此採問卷、訪談了解各單位缺口及課程需求，並經與學者專家諮詢後，進行綜合評估及課程規劃，並辦理通案性及需求性強或優先性高之運輸調適專業知識教育訓練。

5.1 問卷調查

本計畫之問卷設計參酌文獻回顧擬訂問卷架構，分為「前言（問卷說明）」、「認知背景」、「知識」、「經驗與課程意見」、「基本資料」五大部分，題型以選擇題為主、是非題為輔，並留有提供建議的欄位。問卷初稿完成後，請運輸系統從業者及本計畫相關人員進行預試並給予建議，依據測試者及審查者意見，調整問卷內容之語意及難易度後完成定稿。問卷定稿後，以雲端問卷方式邀請交通部相關部屬機關(構)進行填寫，最後依據問卷回收情形進行結果分析，同時以此做為訪談基礎。問卷調查規劃流程如圖 5.1.1：



資料來源：本計畫繪製。

圖 5.1.1 問卷調查規劃流程圖

5.1.1 問卷設計

問卷調查的目的是要評估交通運輸單位從業人員（無論是否接觸過調適相關業務）對於「氣候變遷調適」的認知程度，以利後續規劃調適基礎課程或進階課程。本計畫以文獻回顧資料為基礎，經研商過程，擬定問卷設計原則，如表 5.1-1 及預試問卷內容，分為「前言（問卷說明、主辦及執行單位）」、「認知背景」問題、「知識」問題、「經驗與課程意見」問題、「基本資料（含建議欄位）」問題等五大部分，並以 Google 表單功能轉為線上填寫版本，先以此線上版本進行預試。

表 5.1-1 問卷設計原則

項次	內容
1	採線上問卷方式進行
2	填寫時間不超過 15 分鐘
3	全匿名式
4	是非題、選擇題（有正確答）為主
5	避免具道德傾向性題目
6	聚焦運輸相關議題

5.1.2 進行問卷預試

邀請具備「氣候變遷調適」業務辦理經驗者（未限定運輸相關領域）及「運輸管理機關（構）」從業者（不限是否具備氣候變遷調適相關經驗）兩類型人士共 17 人進行問卷試填，試填者可從問卷的「建議」欄位提供回饋，例如整體問卷或個別題目的試填心得、改進建議等。

此外，為進一步瞭解試填者的填答詳情，例如閱讀題目與填答時的態度及反應、從業經歷與氣候變遷調適知識儲備情形、前述變因可能如何交互影響等，透過訪談其中 2 位具「氣候變遷調適」業務辦理經驗者（主要目的為提升問卷設計品質）、2 位「運輸機關（構）」從業者（分別為軌道、航空系統非主管職工作人員，無氣候變遷調適相關經驗，本問卷的主要目標對象類型）以取得資訊。

以前述線上預試及線下訪談所得為基礎，經討論確認後，修正預試問卷內容。

5.1.3 預試問卷回饋

1. 整體性回饋與建議

有關於問卷主題與問題難度，無論是有無氣候變遷調適相關經驗者，均表示問題有難度，建議降低難度、修訂問法及新增「不知道」的選項。

2 位軌道、航空系統從業者表示，「氣候變遷調適」是少見的詞，對於問卷主題覺得陌生，許多問題與問項不在原本的知識儲備中，都需要想一下、推測是什麼意思，因而容易覺得各問項的內涵很接近。

陌生的問卷主題與內容導致 2 位從業者採取不同的填答策略：1 位在需要屢次停頓、猜想、選擇後，會傾向採取「隨機選擇」的填答策略，另 1 位則表示雖然對此主題沒有把握，還是會盡力解讀題旨與問項內涵，自始至終採取「選擇當下認為最適解」的填答策略。

後者表示，所負責業務與供應鏈管理相關，近期常與外部人士探討 ESG（Environmental, Social, and Governance，即環境保護、社會責任、公司治理）議題管理情形，認為「氣候變遷調適」是 ESG 相關議題，因此在填答過程中會給予關注。

有關於問卷用詞，填答者提出「各題前面增加編號」、「題目選項建議不用句號」、「否定疑問可以統一[何者為非]，肯定疑問為[何者為是]」等建議，亦表示若此問卷目標對象是交通運輸現場工作者，可以考慮更口語化、提升填答的趣味程度、賦予「填答」這個行為更積極的行動意義，讓參加者成為推動進步的一份子。

2. 「認知背景」問題回饋與建議

本區塊共有 4 題，目的在於簡要瞭解填答者的相關背景與自我認知，詢問填答者是否上過氣候變遷相關課程、是否聽過相關關鍵字、評估自身的瞭解程度，以及氣候變遷為其工作單位或所服務人群帶來的衝擊程度。

回饋與建議聚焦於用詞的明確化，填答者表示「運輸部門」、「運

輸領域」的用詞並不直觀，需要花時間轉譯且不確定自身解讀是否與原意一致，例如「領域」指的是任職的場所、還是任職業務處理的對象？建議依問項背後的原意，將文字寫得更明確一點。

3.「知識」問題回饋與建議

本區塊共有 6 題，目的在於簡要瞭解填答者的氣候變遷調適知識，且主要以運輸系統的角度出發，詢問填答者有關運輸系統的氣候變遷調適內涵（如能否與防災概念有所區分）、氣候壓力因子、風險評估作法，以及國內與國際報告所揭露的現況等。

回歸本題組的設計目的，填答者回饋表示，若問卷的目標是要瞭解目前的認知或知識儲備，應加上相關說明提醒填答者，例如「就您目前的認知」，否則，部分填答者可能會上網找答案（儘管這也是有傳遞知識的功能），或者在這些題目都增加一個「不知道」的選項，以避免真的不知道，又非要選擇，造成結果偏差。

這也呼應到前述填答者反映問題有難度，建議降低難度、修訂問法，以及新增「不知道」的選項。以最多人反映困難的本區塊第 5 題為例，除了因為問題本質「選出對於調適工作的正確評價」確有難度之外，更多是因為引用了「IPCC 氣候變遷第六次評估報告」的內容。

第一個層次係因出現此類專有名詞會過於艱澀，因為不知道這份報告是什麼，連帶認為無法回答此問題；第二個層次會讓填答者有兩個層面的對錯判斷：一是陳述本身是否正確，再者是這項陳述是否出自 IPCC 第六次報告。因此，會建議刪除題中的「IPCC 氣候變遷第六次評估報告」，不僅不妨礙作答，甚至會降低模糊空間，除非「IPCC 氣候變遷第六次評估報告」和答題者及日後的課程安排有關鍵的連結。

此外，有關本區塊第 2 題「（何者不是）運輸系統面臨的氣候壓力因素」，本題原本擬定正確答案為「地震」，但有填答者表示所有選項都為正確答案，無法作答，經查近年確有「氣候變遷加劇」與「地震發生次數」的因果關係探討，有鑑於此，本題也會再做調整。

4.「經驗與課程意見」問題回饋與建議

本區塊共有 3 題，目的在於瞭解填答者是否曾辦理相關業務，取得其對於未來培訓主題及各部門能力建構的看法。

對於本區塊第 2 題的各「培訓主題」選項，尚未具備氣候變遷調適知識的填答者表示這也是填答難點所在，每個選項都需要思考一下；與此呼應，其他填答者建議培訓主題可增加簡要說明，以利更具體地想像可能是哪些課程，也有填答者表示，若非從事調適業務，本區塊問題可能難以回答。

5. 「基本資料」問題回饋與建議

本區塊共有 5 題，目的在於取得填答者的生理性別、年齡區間、所任職運輸系統與職務、建議等（由於本問卷為匿名屬性，未蒐集可指涉個人的資料）。

由於未有填答者針對本區塊問題給予回饋與建議，將採用「整體性回饋與建議」中適合之處，例如「各題前面增加編號」、「題目選項建議不用句號」、「賦予積極性」等建議。

5.1.4 問卷修訂（正式版本）

承前節所獲回饋與建議發現須依據問卷目標對象的實際情形降低問卷難度，以減少與現況的偏差，而所謂「問卷難度」，可分為「問題難度」（問題題型及問題內容）及「理解難度」（用詞明確程度及輔助說明）兩面向進行修訂，修訂重點彙整如表 5.1-2。

表 5.1-2 預試問卷題型與問題內容修訂重點

類別	「問題難度」修訂說明	「理解難度」修訂說明
整體	• 調整問題題型與內容以降低問題難度。	• 提升用詞明確程度及新增輔助說明。 • 有關編號、標點符號與行文建議，原則上皆採納修訂。
認知背景	• 參考環境部問卷，詢問是否聽過調適。	• 「運輸部門」、「運輸領域」修訂為「運輸單位」，並新增「衝擊」說明。
知識	• 題型原為 6 題單選題，增加題目，改為 5 題是非題、5 題單選題，共 10 題。 • 是非題著重在對「氣候變遷」、「氣候變遷調適」的理解。 • 內容：單選題則是著重在運輸交通單位的「氣候變遷調適能力建構」、「氣候壓力因素」、「能否區分防災與調適」。 • 刪除：與國內外報告相關的氣候變遷調適現況理解題、「地震」問項。	• 填答前提醒填答者按「目前的認知」作答即可，問項中也增加「不知道」的選項。
經驗與課程意見	• 為呼應工項說明，列出各類課程規劃（課程種類多且細），並設計可辨別需求性及優先性的問卷選項。	• 「培訓主題」問項新增簡要說明，促進填答者理解。 • 調整有關運輸部門及業務職掌的分類與用詞。
基本資料	• 無。	• 問項用詞調整（性別、任職運輸系統等兩題）。

5.1.5 執行問卷調查

調查前先以電話及電子郵件等方式向受試運輸單位說明本計畫，並邀

請填寫問卷，再正式發文向其說明計畫緣由及目的、各單位分配之填寫名額（目標回收份數為 200 份），以及截止日期等資訊，所邀請之運輸單位及管理機關(構)、問卷調查分配名額，以及實際回覆情形如表 5.1-3。

表 5.1-3 問卷調查對象及回覆情形

運輸系統	單位（機關）	分配數	分配占比	回覆數*	回覆占比
公路	公路局	20	20%	51	25.5%
	高速公路局	20			
軌道	鐵道局	20	25%	59	29.5%
	臺鐵公司	20			
	臺灣高速鐵路股份有限公司	10			
航空	民航局	20	15%	24	12%
	桃園國際機場股份有限公司	10			
港務	航港局	20	20%	32	16%
	臺灣港務股份有限公司	20			
觀光	觀光署	20	10%	20	10%
其他(交通部)	路政及道安司 公共運輸及監理司 (註：前身為路政司)	10	10%	14	7%
	航政司	10			
總計		200	100%	200	100%

*備註：問卷分配數為發文請各單位填寫數，各單位分派填寫人員可能略多於分配數或部分分派填寫人員未完成填寫之情況，因此分配數與回覆數不一定相同。

5.1.6 問卷結果分析

透過問卷調查並交叉比對各面向所得數據，歸納以下 4 項觀察，做為後續深度訪談的基礎。

1. 運輸單位工作人員對於「氣候變遷調適」已有認知，但不瞭解在運輸方面的應用內涵及作法，具備學習氣候變遷調適的潛在需求（動機與

意願）。

2. 高需求性及優先性的課程為「調適新知與案例」、「氣候變遷衝擊與情境資訊」、「氣候變遷風險評估方法」，且具分眾一致性。

3. 經分眾檢視（各運輸系統分群、上過課與否分群、得分高低分群、職務分群），填答者對於「調適新知與案例（如各運輸單位可能面臨的複合性氣候災害、如何以「自然為本解決方案 NbS」推動調適行動）」、「氣候變遷衝擊與情境資訊（解讀氣候變遷科學報告，瞭解未來的情境假設與影響程度）」、「氣候變遷風險評估方法（如風險評估模式、風險矩陣）」3 項課程主題具有一致的優先需求。

4. 優先授課對象為運輸規劃/設計、工程/施工、營運、工務養護、環境安全衛生等業務職掌人員，此看法具分眾一致性。

5. 經各運輸系統分群檢視，填答者認為運輸規劃/設計、工程/施工、營運、工務養護、環境安全衛生等部門人員之業務職掌與「氣候變遷調適」較相關，應做為課程目標對象，以利後續推行相關工作。

6. 「有/無上過課程」、「有/無辦理相關業務」對於填答者的氣候變遷調適知識有明顯影響。

問卷知識題得分平均為 5.6 分（滿分 10 分），有上過課程者平均 6.9 分，未上過課程者平均 5.2 分，而有辦理過氣候變遷調適相關業務者平均 6.8 分，未辦理過相關業務者平均 5.3 分，此兩者是影響填答者知識題得分高低最大的兩個因素。

本計畫實際回收 200 份問卷，整體問卷調查結果摘錄於表 5.1-4，有關「認知背景」、「知識」、「經驗與課程意見」區塊的各題填答結果，詳述於後。

表 5.1-4 問卷調查結果彙整表

類別	調查結果
基本資料	• 回收問卷 200 份（符合目標份數）。 • 性別：女性 85 人（42.5%），男性 113 人（56.5%），其他 2 人（1%）。 • 年齡分布：30 歲以下 18%，31~40 歲 25%，41~50 歲 30.5%，51~60 歲 22.5%，61 歲以上 4%。 • 運輸單位：公路單位 51 份（25.5%）、鐵路單位 59 份（29.5%）、航空單位 24 份（12%）、港務單位 32 份（16%）、觀光單位 20 份（10%）、交通部與運研所 14 份（7%）。 • 職務性質：32 名主管（16%）、168 名非主管（84%）。
認知背景	• 過半數認為其對氣候變遷調適掌握度有限。 • 過半數認為氣候變遷或極端天氣事件對所轄運輸設施所帶來的衝擊重大。 • 近 7 成不瞭解所屬單位的氣候變遷調適工作內涵。
知識	• 整體平均分數 5.6 分（滿分 10 分），上過課者均分 6.9 分，辦理過相關業務者 6.8 分。 • 填答者的氣候變遷基礎知識掌握度，高於運輸相關氣候風險掌握度。 • 填答者對臺灣氣遷變遷政策掌握度，高於對調適策略與國際議題掌握度。
經驗與課程意見	• 23.5%曾上過氣候變遷調適相關課程，20.5%負責或辦理過氣候變遷調適相關業務，11%曾上課及負責相關業務（兩者兼具）。 • 建議課程對象：運輸規劃/設計（74%）、工程/施工（66%）、營運（60.5%）、工務養護（58%）、環境安全衛生（44.5%）等 5 個部門／業務職掌人員。 • 課程需求（超過 30%填答者「高度需求」）：調適新知與案例、氣候變遷衝擊與情境資訊、氣候變遷風險評估方法、調適對策研擬實務、建置或應用調適所需資料庫及工具。 • 課程優先性（依得票率高低排列）：氣候變遷衝擊與情境資訊（58.5%）、氣候變遷風險評估方法（53%）、調適新知與案例（52.5%）。

5.2 深度訪談

5.2.1 深度訪談設計

深度訪談之設計包含確認訪談方向、訪談大綱、訪談流程與訪談分析，訪談前皆收集與該運輸管理機關(構)有關的國際與國內規範、曾做過的氣候變遷調適策略與計畫，期以具體計畫或策略詢問該運輸管理機關(構)的氣候變遷調適知能缺口、課程優先性與需求性。

訪談架構包含四大方向：

1. 對氣候變遷的掌握度：了解受訪者對氣候變遷基礎科學、國家政策與法規（如對國家兩階段調適框架的理解）、氣候變遷風險評估的認識。
2. 工作職掌與氣候變遷的關聯：了解受訪者對運輸系統之氣候風險及因應該氣候風險的調適策略的認識，如國家調適能力建構政策與業務關聯性。
3. 通識與專業知識之需求性及優先性：了解受訪者對氣候變遷基礎知識及與其專業知識之需求性及優先性，如各運輸系統（公路、鐵路、港埠、機場）可能氣候災害、氣候變遷因應法與轄管相關業務法規之連結或調整、瞭解以自然為本解決方案（NbS）的工程概念、 工程財務規劃概念。
4. 課程規劃建議：詢問受訪者過往參與氣候變遷培訓的學習經驗，請其給予課程內容、課程形式的建議。
5. 規劃之深度訪談名單除涵蓋交通部所轄運輸系統之 8 個運輸管理機關(構)，考量觀光署與運輸系統有密切合作關係，而氣象署擁有全臺最先進的氣象資訊，為諸多運輸機關提供氣象服務，因此於訪談名單中增加觀光署與氣象署。確認訪談名單後，依圖 5.2.1 深度訪談設計流程圖之規劃進行約訪，共訪談 10 個機關（構），如表 5.2-1。

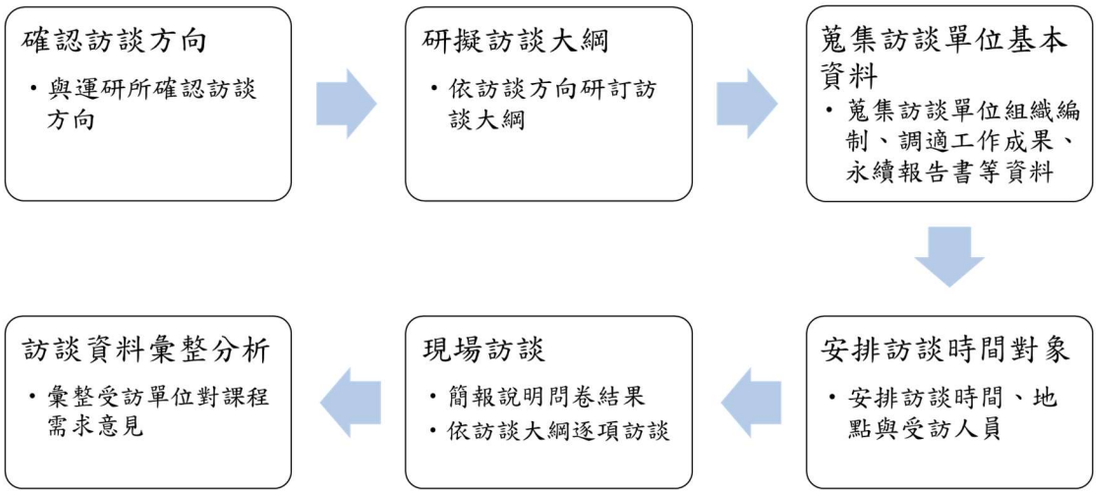


圖 5.2.1 深度訪談設計流程圖

表 5.2-1 深度訪談單位

編號	運輸管理機關（構）	編號	運輸管理機關（構）
1	公路局	6	航港局
2	高速公路局	7	桃園國際機場股份有限公司
3	臺鐵公司	8	臺灣港務股份有限公司
4	鐵道局	9	觀光署
5	民用航空局	10	中央氣象署

5.2.2 深度訪談結果

深度訪談大多採面訪方式進行，訪談主題聚焦於運輸機關對氣候變遷調適掌握度、課程需求與課程建議，歸納深度訪談結果，分成「運輸管理機關（構）人員調適專業知能缺口」與「調適專業知識之需求性及優先性」進行說明。

1. 運輸管理機關（構）人員調適專業知能缺口

整體而言，運輸管理機關人員對氣候變遷調適知能處於初期階段，然因公路、鐵路、港埠、機場所受國際規範不同，影響其在氣候變遷調適領域的知能表現；航空運輸管理機關人員在此領域的掌握度最高，普

遍對氣候變遷調適不陌生，受訪單位均能分辨氣候變遷減緩與調適的差別，也知道減災不全然等同於調適；民航局於「國家氣候變遷調適行動計畫」第三期（112-115 年）提出「民用航空局所屬航空站氣候變遷調適能力推動計畫」，將為後續計畫提出具一致性的調適策略與行動框架；桃園國際機場股份有限公司更已導入 ISO14090，推動「依據 ISO 氣候變遷調適指引，推動桃園區氣候變遷調適作業，並取得認證資格」計畫（112-114 年），預計 2024 年 10 月取得 ISO14090 認證。

海運管理機關（構）以臺灣港務股份有限公司對氣候變遷調適的理解程度表現較佳；臺灣港務股份有限公司 2023 年成立永續辦公室，待組織架構更明確後，將有專責氣候變遷調適單位，今年亦開始啟動 TCFD 專案，進行氣候風險評估；在陸運、海運、空運路線互補的整體調度層面（例如因氣候或災害導致停航、停駛等情況），航港局有「交通韌性」協調與應變機制會，與民航局、公路局合作調度。

陸路運輸管理機關（構）曾邀請 NCDR 人員擔任講師，說明該機構天氣與氣候監測的資源與運用，但對氣候變遷調適與防災的區分尚未完全掌握。鐵道局對調適議題尚在初步階段，調適知能的建構在初期需多仰賴運輸研究所。部分機關（構）與氣象署合作使用 QPESUMS 系統做劇烈天氣監測、具備完善的防減災、防救災預警及應變機制，如臺鐵公司有 5,300 多處邊坡保全對象、針對各種災害目前多設有預警設施，如地震優化系統、軌溫監控、測風速站；高公局有「耐震補強」（橋梁）、「邊坡安全體檢」（以集水區為範圍進行影響評估與監測）、「多孔隙瀝青排水鋪面」、「強風管制作業規定」等因應方案；公路局的邊坡防護已相對完整（包含進行風險分級及建模監測等），也有針對泥流、浪襲等危害因子進行分級與監測，但未涉及調適的極端氣候情境。

2. 運輸管理機關（構）人員調適課程需求與課程建議

雖然各運輸管理機關對氣候變遷調適理解程度不一，然而諸多受訪者對此領域的課程需求，建議規劃課程內容前，應著重如何提升學員的「學習動機」與「學習誘因」；課程內容應引導學員了解該課程與其業務間的關聯，使其明白該課程的重要性，並指引其尋找相對應的解決策略；課程結束後，應有相對應的實作機會，例如議題主導的專題工作坊，

以及融入工程設計規範示範，以利於學員學以致用。

3. 規劃課程內容前

理想上，應在制度面形塑運輸管理機關因應氣候風險行動的「學習動機」，如在法規、政策、規範、績效指標要求應將氣候變遷調適的概念融入工作項目，然考量制度面的推動需要較長時間的醞釀，因此建議課程設計除搭配氣候變遷因應法、公共工程委員會等國內外法規、規範對運輸機關的要求，也應設計氣候變遷調適行動的「學習誘因」，如公務員學習時數、證照。

4. 課程規劃

相關運輸機關對氣候變遷調適知能普遍有限，課程需求主要在建立對氣候變遷調適的基本概念，幫助參與學員釐清其在擬訂及執行氣候變遷調適策略與行動計畫的能力缺口，同時考量學員的學習量能，避免給予過多新知，引起學員抗拒與放棄心理。綜整在氣候變遷調適策略相對有經驗的民航局、桃園國際機場股份有限公司、臺灣港務股份有限公司的建議，課程規劃應從引導授課對象了解該課程與其業務間的關聯，引發授課對象行動動機，再給予行動指引，使其知道該如何跨出第一步，建立學員對氣候變遷調適的基本概念，接著再導入氣候風險評估，以及因應該評估結果的對策解析。建議的課程實施要領包括：

(1) 引發學員行動動機

基礎課程的前期規劃應引發學員探索氣候變遷調適的行動動機，引導學員瞭解國家政策、推動進程及對業務的影響，吸取國際趨勢、規範與評比等相關新知，側重提升「氣候變遷調適」的意識，課程內容可聚焦於風險與機會、提升營運績效等。針對此點可從兩個層面進行推進：

① 瞭解國際新知、趨勢、規範與評比，以因應未來各種強制性或自願性要求，或是在評比中尋求佳績。

A. 如航空業須遵行國際規範，因此須積極體察相關動態，如參加ACI會議或標竿案例學習，也須預判國內遵循的進程。

B. 以桃園機場為例，持續參加 ACI 的機場碳認證計畫（ACA）、綠色機場評比，並遵循其風險管理指引。

②瞭解國家政策、推動進程及對業務的影響、要求。

如環境部「氣候變遷因應法」、運輸部門、金管會或其他部會的相關規定。

(2) 給予學員行動指引

基礎課程主題應協助授課對象掌握該知識與其業務關聯性，使其理解「為什麼做」、「要做什麼」，以及「怎麼做」。例如，在國內外規範及法規解說時，可進一步讓授課對象了解相關要求、對營運的影響以及被賦予的任務。這樣的課程設計能幫助學員將理論知識轉化為具體行動，提升其在實務操作中的應用能力。

專業課程主題應提供具體的操作技術，並進行國際案例解析，探討在臺灣如何在地化執行。這不僅僅是模仿國際解決方案，而是深入了解其發展脈絡、政策條件、投入資源、所遇到的難題以及克服方法。通過這樣的課程，學員能夠具體了解在實際操作中能做什麼，並從國際經驗中汲取有益的作法，以適應本地需求和條件。

(3) 創造學員學以致用的機會

許多陸運運輸管理機關（構）人員提及，即使學員建立了學習動機並具備基本執行能力，若要將調適納入工作，仍會面臨制度、財務、技術三方面的限制。例如，若相關法規、設計規範未因應氣候變遷調適需求修訂，仍會依循既有經驗操作，無法評估需因應未來情境與風險，提升設計標準的程度；即使技術可行，也需考量經濟和財務因素。

針對這些考量，航空運輸管理機關（構）人員建議，在政策上應於相關補助與評比計畫中納入調適元素的加分機制；在組織運作上，不特定設置調適項目，而是要求每個部門在規劃及營運中加入調適考量。

5. 訪談中發現運輸部門調適存在之共通性問題

本計畫訪談各運輸管理機關（構）發現的問題包括：

(1) 標準內容和方法不一致：不同運輸行為之間，現有的標準內容和方法存在差異，缺乏統一性。

(2) 資料庫難以量化氣候變量：現有資料庫難以直接量化所有氣候相關變量的標準，因此需要諮詢大量交通和氣候專家來盤點及訂定標準門檻。

(3) 技術專業化難以建立通用模式：交通工程具有高度專業化，很難訂出跨傳統「知識社區（knowledge communities）」邊界的通用模式。

(4) 氣候預測的範圍值問題：設計、維護和運行標準通常基於氣候相關變量的特定值，但氣候預測通常以範圍值而非絕對值的方式給出，這造成了一定的挑戰。

(5) 長期調適常被忽視：長期氣候變遷調適經常被視為非優先事項，缺乏足夠的重視。

(6) 預算安排問題：各部門是否編列氣候變遷調適相關預算仍需進一步確認和改善。

5.3 諮詢專家學者意見

課程初擬後，特別邀集 3 位曾參與編撰教育部維生基礎設施（交通領域）補充教材之學者，召開運輸調適課程規劃專家學者諮詢會議，學者名單如表 5.3-1，請學者專家對課程規劃內容提供意見。

表 5.3-1 運輸調適課程規劃專家學者諮詢會議之學者名單

姓名	職級	校系/專長
鄭永祥	教授	國立成功大學交通管理科學系暨電信管理研究所 教育部維生基礎設施（交通領域）專業融入補充教材 審閱
陳文字	教授	國立成功大學交通管理科學系暨電信管理研究所 教育部維生基礎設施（交通領域）專業融入補充教材 編著
張瀞之	教授	國立成功大學交通管理科學系暨電信管理研究所 教育部維生基礎設施（交通領域）專業融入補充教材 編著

綜合 3 位教授意見，說明如下：

1. 課程設計合理：目前課程設計基本符合要求，整體上較為合理。
2. 跨系統整合建議：建議在課程規劃中將運輸調適的跨系統整合納入考量，以提升課程的全面性和實用性。
3. 考慮本地氣候特性：由於各國氣候條件差異顯著，應考慮本地氣候特性及氣候變遷情境推估，以確保課程內容的針對性和有效性。

4. 港埠與陸上交通的氣候風險差異：港埠的氣候風險與其他陸上交通系統存在顯著差異。調適課程中的通識部分可涵蓋執行程序與要點，但實際氣候衝擊與風險的評估需根據港口的特性進行。
5. 商港營運與國際競爭：商港營運需要面對國際競爭，應正視氣候變遷是否對港口營運造成影響的議題，並在課程中予以重視。
6. 參考國內大學課程地圖：建議參考國內大學製作的課程地圖來呈現課程規劃，這將有助於清晰展示課程結構與內容。
7. 融入補充教材建議：建議將氣候變遷調適專業知識融入補充教材，特別是在維生基礎設施（如交通系統）領域的規劃課程中。
8. 實務工作坊的採用：對於規劃實務工作的調適課程，建議採用工作坊的方式，以提高參與者的實際操作能力和應對策略。

5.4 「運輸系統因應氣候變遷調適」課程需求綜合評估

綜整上述問卷調查及深度訪談結果，分析運輸管理機關（構）人員調適專業知能缺口，以及調適專業知識之需求性與優先性，歸納出調適專業之能缺口現況及課程規劃建議。

5.4.1 依運輸機關調適知能現況盤點結果

運輸管理機關（構）大多自「國家氣候變遷調適行動方案」第一期（102-106 年）開始才接觸「調適」概念，但歷年來氣候變遷相關之業務多以「減緩」為主，而自 2023 年「氣候變遷因應法」的公布施行，才有較多「調適」相關討論，受訪者多表示對其定義，以及在運輸的應用內涵及作法仍有模糊之處。

檢視各運輸系統的調適業務，可發現各系統的知能現況有所分別：空運系統因有國際參與及義務遵循，整體而言，對於調適的關注度高且有具體作為，如：民航局開始研擬氣候變遷調適藍圖，為後續計畫提出具一致性的策略與行動框架；桃機推動園區氣候變遷調適作業，預計 2024

年第 4 季取得 ISO14090 認證，在各部門日常工作中內化調適的邏輯與程序。

各單位目前對防避災管理均有豐富經驗，例如實務上以「設施別」區分主責單位（如橋梁、邊坡、滯洪池等），在氣象資料應用層面，結合氣象署「新一代劇烈天氣監測系統」（QPESUMS），開發客制化應用程式，但對於調適目標在於避免受到未來極端天氣嚴重損害，以及調適應用的情境可能超過現有歷史氣象紀錄的觀念則相對薄弱，亦即對於防災與調適的觀念尚待加強。

儘管各運輸系統的調適知能現況不一，但即使是已有具體行動的航空系統也僅相關業務主責同仁認知度較高，大部分同仁甚或高階主管的認知就相對模糊，仍須透過基礎調適課程增進理解。因此，氣候變遷調適基礎課程為各運輸系統的需求重點，目標在建立對氣候變遷調適的基本概念，幫助參與學員釐清其在擬訂及執行氣候變遷調適策略與行動計畫的能力缺口，除了課程內容的學習，也協助其找到合適的諮詢資源。

至於基礎課程的主題，各運輸機關不約而同地提及「氣候變遷調適」相關法規（如氣候變遷因應法）、指引（如環境部制訂中之風險評估指引）的內容，氣象署、NCDR 所提供的資源等，希望瞭解國家政策的管制重點、推動進程及對其業務的影響、要求。另各機關亦想瞭解運輸系統調適作為及未來趨勢，透過實例更可體會對自身的相關性及重要性。

5.4.2 依國內外其他調適專業教材與課程現況分析

參考國內外調適課程與訓練教材，現況分析重點說明如下：

1. 調適業務執行的標準化：國內外推動調適業務的指引、手冊及訓練課程普遍採用風險評估和調適規劃兩階段的實施方式，這與第三期國家調適計畫的實施模式相符。
2. 國際調適工作現況：由於國際調適工作尚處於起步階段，相關工具和執行方法多樣且不一，我國也處於相似階段。進階工具或實驗性質的工作在執行方向尚未明確之前，尚不適合納入課程內容。
3. 課程設計建議：考慮到氣候變遷法規新公布，且涉及的科學性和複雜

度較高，建議課程應優先推廣調適所需的基本知識、法規及調適兩階段框架。後續可根據風險評估的結果，了解危害因子及其衝擊影響，再推進調適規劃的相關課程。

4. 模組與工作流程的整合：氣候變遷風險評估及調適涉及多個模組，這些模組在策略研擬、規劃施工及維運等階段中各有特定的工作項目，形成氣候變遷調適模組與工作流程的矩陣（如圖 2.3.2 所示）。因此，建議教育訓練課程應不僅涵蓋縱向模組工作，還需橫向連結各工作階段所需執行的調適模組。

其次，從第二章文獻回顧第 2.3 節對國內外調適相關課程的分析可知，目前實施中的課程主要集中於基礎科學及風險評估領域。這與調適工作的執行流程相符合，即在開始調適規劃之前，首先需要了解系統所面臨的氣候衝擊，並評估風險程度較高的項目。只有在確定了風險最高的項目後，才能有效展開調適規劃。如果有限的資源無法優先投入到風險最高的項目中，可能會導致資源的錯配，無法有效解決最迫切的問題，更遑論進行經濟效益分析。因此，建議應優先安排可協助各機關（構）達到具有執行風險辨識與風險評估能力的課程，完整課程包括以下課程主題：

1. 氣候變遷基礎科學
2. 國家政策與法規認識
3. 氣候風險評估概論
4. 相關法規基本認識和修訂需求
5. 自然為本解決方案（NbS）
6. 財務規劃
7. 氣候資料之解讀
8. 調適選項的決定
9. 將調適行動計畫納入計畫
10. 將永續性融入基礎設施設計和決策
11. 環境正義

經與前述 3 位國內編撰大學運輸系統調適補充教材課程的教授討論，他們對於這一課程規劃原則表示一致認同。因此，綜合實際知能缺口與推動調適業務的需求，這些結果顯示出規劃原則的合理性和一致性。

5.5「運輸系統因應氣候變遷調適」課程

為提供運輸系統因應氣候變遷調適課程設計參考，分析第二章 2.3 節國內外運輸系統調適相關專業課程，分別探討其課程設計之架構。

1. 教育部氣候變遷調適教育教材「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（2022 年版）」：課程授課對象為運輸科系學生。課程分五章，第一章背景與基礎概念，第二章～第五章分別為公路系統、軌道系統、港埠設施及機場設施之調適策略。其中第一章背景與基礎概念涵蓋的內容可分為 3 類。
   (1) 氣候變遷基礎科學：氣候變遷定義與影響、大氣環流模式、溫室氣體情境、氣候變遷對交通系統的影響。
   (2) 調適策略：氣候變遷調適策略核心、國家氣候變遷調適策略綱領、交通政策白皮書、運輸因應氣候變遷如何永續發展。
   (3) 執行：氣候變遷調適策略行動方案。

   在各運輸系統調適策略部分，以公路系統為例，內容包括氣候變遷對公路系統的影響、氣候變遷對公路、橋梁系統的衝擊評估與風險管理、脆弱度評估架構；公路、橋梁系統的調適策略；公路、橋梁系統調適策略行動方案等。
2. 歐盟專案經理指南：分為簡介與背景、專案指引兩大區塊，對象為各類計畫專案經理，不限於運輸系統。
   (1) 簡介與背景：包含目標、適用範圍、法規、財務、氣候變遷背景、氣候變遷對實體基礎設施的影響及不確定情境下的決策。
   (2) 專案指引：敏感度分析（模組 1）、暴露評估（模組 2）、脆弱度分析（結合模組 1 和 2）、風險評估、調適選項的決定、調適方案評估、將調適行動計畫納入計畫等 7 個模組。
3. 航空組織氣候風險評估、調適與韌性：區分為風險評估與調適規劃兩

個區塊，對象為航空組織人員。

(1) 風險評估：包含①為評估做好準備，② 定義評估範圍，③ 收集氣候數據，包括識別氣候壓力源和情景，④ 評估氣候變遷影響，⑤ 完成評估，為調適做好準備規劃，以及⑥ 監控和審查評估。

(2) 調適規劃：包含①定義調適和復原力目標，② 確定調適和復原力措施以解決優先脆弱性，③ 制定和實施氣候調適計劃，④ 定期監測和審查。

4. 紐澤西州公路局氣候韌性與調適課程：根據美國聯邦公路管理局（NHI）提供的培訓課程，所規劃的一系列課程，對象為公路機關單位人員。

(1) 氣候變遷科學：過去、現在和未來的氣候變遷、 溫度和降水預測

(2) 風險評估：系統脆弱度評估

(3) 調適規劃：專案決策的調適分析、解決公路計畫開發和初步設計中的氣候復原力問題

(4) 永續：將永續性融入基礎設施設計和決策

(5) 其他：環境正義基礎、自行車設施設計、空氣品質規劃

本計畫規劃「運輸系統因應氣候變遷調適」課程，以第四章運輸管理機關（構）應具備之調適專業能力為基礎，參考上述國內外課程架構將課程分為三類，第一類「調適基礎課程」涵蓋調適基礎認知的基礎科學、法規或理念，第二類「調適進階課程」為各運輸系統通用，執行調適工作所需具備之能力或方法，第三類「運輸系統領域調適專業課程」則為每個運輸系統各別的調適專業知能。課程整體規劃依課程特性、上課對象分類，說明如下。

1. 課程特性分類：

(1) 基礎科學與理念類：氣候變遷及氣候災害、自然為本解決方案（NbS）概念、氣候風險決策參考資訊、氣候變遷風險評估概論。

(2) 法規與政策類：國家法規與政策。

(3) 執行方法與指引類：氣象資料解讀及取得、氣候變遷風險評估準則及執行程序、融入調適措施時機與要點、面對高度不確定性之決策

方法、氣候財務風險揭露、調適指引範例、調適案例分享、各運輸系統專業課程。其中氣候變遷風險評估準則可再細分為風險評估作業前準備、風險評估範疇界定、脆弱度分析及執行程序及融入調適措施時機與要點。

2. 上課對象：將分別針對高階主管、規劃設計人員、維運人員、財務人員規劃適當課程。

(1) 高階主管：為調適工作推動的關鍵人員，但高階主管時間有限，因此，規劃針對高階主管提供 3 小時濃縮的基礎理念、法規課程，且基於永續性是涉及經濟、環境和社會等多方面考量的上位概念，課程內容涵蓋永續指標與決策。

(2) 規劃設計人員：規劃設計人員的建議參加課程包括基礎科學和理念類課程，以及詳細的法規、執行方法與指引類課程。而「氣候財務風險揭露」及「維運階段調適融入項目與時機」兩類課程可自由參加。

(3) 維運人員：規劃設計人員的建議參加基礎科學與理念類課程、法規類課程、執行方法與指引類課程，以及維運階段調適融入項目與時機維重點課程。

(4) 財務人員：建議參加課程以國家政策法規及「氣候財務風險揭露」為重點。

完成上述課程規劃後，再根據問卷調查及深度訪談結果對課程設計進行了調整。調查及訪談結果顯示，大多數運輸機關（構）對課程的需求主要集中在氣候變遷基礎科學、調適相關法規以及調適執行指引方面。除了這些基本需求外，對於詳細的課程主題內容，各單位並無明確的要求。然而，參與者普遍建議，執行方法類課程採用工作坊形式會更具效果，因此我們對課程規劃進行了如下調整：

1. 課程內容調整：問卷及訪談結果顯示，運輸機關（構）所需的主要課程內容包括氣候變遷基礎科學、調適相關法規及調適執行指引。本計畫在課程規劃中已經充分考慮這些需求，具體內容涵蓋如下：

(1) 氣候變遷基礎科學：包括氣候變遷的基本原理及其對運輸系統可能造成的影響，並介紹相關氣候災害的知識。

(2) 調適相關法規：詳細介紹調適過程中需要遵循的法律法規及政策要求，幫助學員了解合規要求。

(3) 調適執行指引：提供具體的執行指引和操作方法，幫助學員在實際工作中有效應對氣候變遷挑戰。

2. 課程實施方式調整：根據問卷及訪談結果之建議，對課程實施方式進行了調整，以提高課程的實用性和效果。具體調整如下：

(1) 課堂講授：包括基礎科學與理念類課程及法規類課程。基礎科學與理念類課程將進行氣候變遷基本原理、氣候災害相關知識等內容，通過課堂講授方式進行系統的介紹。法規類課程將介紹相關的調適法律法規及政策，幫助學員了解法律背景和合規要求。

(2) 工作坊：針對調適過程中的具體操作方法及指引，將採取工作坊形式進行。這種形式將強調實務操作和案例分析，通過實踐操作和討論來提高學員的實際應用能力。

表 5.5-1 將上述國內外調適課程與本計畫規劃之課程進行比對，顯示本計畫所規劃的課程內容已涵蓋廣泛，基本符合國內外調適課程的要求。然而，部分議題未納入的課程內容，如環境正義或永續概念等，係因已在納入其他課程的某些單元中，因此並非缺漏。

根據上述規劃結果，運輸系統調適課程劃分為兩大類別：「運輸系統調適共同課程」和「各運輸系統專業課程」。其中，「運輸系統調適共同課程」又依課程內容的屬性進一步分為「調適基礎課程」和「調適進階課程」。

1. 調適基礎課程：此類課程涵蓋基礎科學、理念及相關法規，主要以講授方式進行，旨在為學員提供基本的理論知識和法律依據。

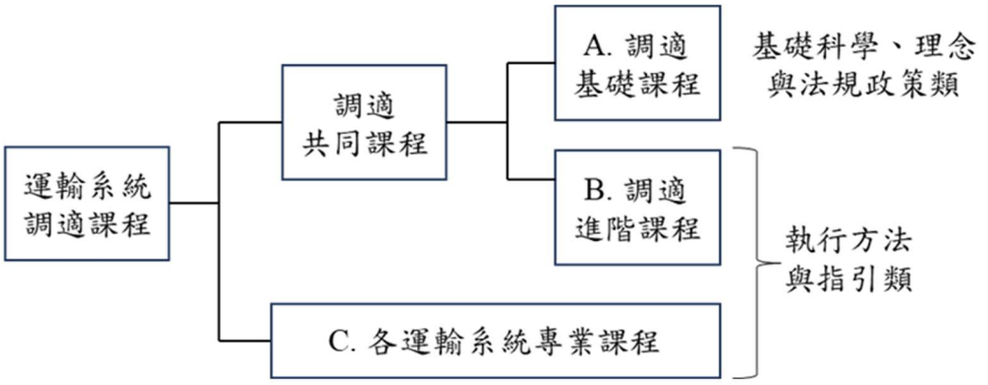
2. 調適進階課程：此類課程專注於執行方法與指引，採用講授及工作坊併行形式實施，以強調實務操作和應用技能的提升。

3. 各運輸系統專業課程：這部分課程針對特定運輸系統的專業需求，主要涉及執行方法與指引，採取工作坊形式，旨在加強實際操作能力和解決具體問題的技巧。

表 5.5-1 本計畫規劃課程與國內外課程對照

	本計畫規劃課程	教育部調適教材	歐盟專案經理指南	航空組織調適	紐澤西州調適課程
基礎科學	✓	✓	✓		✓
國家法規與政策	✓	✓	✓		
自然為本解決方案	✓				
氣候變遷風險評估	✓		✓	✓	✓
AR6 報告解讀	✓				
運輸法規與調適	✓				
氣象資料解讀	✓			✓	
融入調適措施時機與要點	✓	✓	✓	✓	✓
面對高度不確定性之決策方法	✓		✓		
調適案例分享	✓				
氣候財務風險揭露（TCFD）	✓				✓
各運輸系統專業課程	✓	✓		Δ僅航空	
將永續性融入決策	Δ列為課綱		✓		✓
其他（如環境正義）	Δ環境正義為法規政策重點項目				✓

資料來源：本計畫整理



資料來源：本計畫繪製

圖 5.5.1 運輸系統調適課程分類

圖 5.5.1 的課程分類係依實施對象及執行方法兩個面向分別歸類。圖中由左向右，根據實施對象區分，「調適共同課程」適用於所有運輸系統，不受特定運輸類型的限制；而C類「各運輸系統專業課程」則需由各類運輸系統根據自身需求分別辦理。

調適共同課程可區分為 A 類「調適基礎課程」及 B 類「調適進階課程」：

A 類「調適基礎課程」：涵蓋基礎科學、理念與法規政策等內容，這些課程有明確的知識體系，適合以講授方式進行，幫助學員系統性地理解基本概念和法規要求。

B 類「調適進階課程」：這些課程主要針對實際應對氣候風險和衝擊案例中的問題解決方法和執行指引，適合通過講授、工作坊和共同研討的方式進行，這樣能夠促進實務操作和案例分析，幫助學員在實際情境中找到解決方案。

以下分別說明各類課程內容：

1. 調適基礎課程

A1.高階人員調適綜合課程：由於高階人員的承諾和支持對推動調適工作至關重要，因此設計了為期 3 小時的密集綜合課程，涵蓋基礎科學、法規與政策。此課程旨在快速啟動各運輸機關（構）的調適工作，確保其朝向正確的方向發展。

A2.氣候變遷及氣候災害 ：本課程將深入講解氣候變遷的嚴重性與迫切性，分析其對人類社會和自然環境的壓力，以及臺灣面臨的氣候風險因子與衝擊。目的是讓學員充分了解氣候變遷的多重影響

及其應對需求。

A3.國家法規與政策：此課程重點在於掌握與氣候變遷相關的法律法規及政策框架，包括氣候變遷因應法及第三期行動計畫的內容和精神。學員需要理解這些法規和政策如何作為各運輸機關（構）工作執行的依據。

A4.自然為本解決方案（NbS）概念：自然為本解決方案是解決社會永續問題的方案，能同時促進人類福祉和生物多樣性。課程將介紹自然為本解決方案的基本準則、應用方法及其限制，幫助學員在處理氣候變遷問題時，能夠有效利用這些解決方案。

A5.氣候變遷風險評估概論：學員將學習如何利用氣候模型進行模擬和預測，了解我國災害防救科技資訊單位的角色，以及如何選擇適當的氣候變化情境進行評估。此課程作為進階課程「氣候變遷風險評估準則及執行程序」的基礎，為學員提供基本概念。

A6.國家科學報告、AR6 報告解讀與應用（決策者參考資訊）：面對氣候風險，臺灣應與國際趨勢保持同步。此課程將幫助學員掌握國家科學報告及國際 AR6 報告的內容，掌握我國調適進程及國際調適工作方向。

A7.運輸法規與調適：法規是行政機關（構）推動工作的依據，本課程將探討如何在現有的運輸法規框架下推動調適工作，並討論是否需要對現行法規進行檢討或調整，以適應新的調適需求。

2. 調適進階課程

B1.氣象資料解讀及取得：此課程旨在幫助學員理解氣候與氣象的基本區別，並掌握如何從日常變動的氣象數據中提取有用的信息。學員將學習如何選取和解讀不同時間尺度（如每日、每週、每月、每年、10 年、50 年、100 年）的氣象資料，以進行氣候風險評估和調適分析。

B2. 氣候變遷風險評估準則及執行程序：

B2-1. 風險評估作業前準備：涵蓋評估範圍的確定、數據收集（如當地氣象、氣候、地質、水文和生態數據）、歷史氣象數據、地形地質圖、水文資料等，並確定評估方法及資源可用性。

B2-2. 風險評估範疇界定：包括界定地理範圍、時間範圍及特定領域（如水資源、農業、城市規劃等），以確保評估的集中性和實用性。

B2-3. 脆弱度分析（敏感度、暴露評估、風險矩陣）：包括確定敏感指標，收集歷史數據、觀測數據和模擬數據，確定暴露範圍及建立暴露指標，進行脆弱度的分析。

B2-4. 執行風險評估：對風險矩陣中的不同風險情境進行定量或定性評估，確定主要風險及其影響，並撰寫風險報告，詳細說明評估方法、結果及建議。

B3.各階段工作融入調適措施時機與要點：

B3-1.策略階段調適融入項目與時機：探討在策略制定階段應如何融入調適措施。

B3-2. 規劃、設計階段調適融入項目與時機：說明在規劃和設計階段調適措施的具體融入方式和時機。

B3-3. 維運階段調適融入項目與時機：闡述在維運階段如何有效地融入調適措施及其實施時機。

B4.面對高度不確定性之決策方法：選擇調適選項時常常面臨未來高度不確定性的挑戰，包括氣候趨勢變化推估、社會狀況變化（如人口及土地利用變化）、調適政策實施情況、最新技術發展及資金投入能力等。因此，在氣候變遷調適決策過程中，應採用「不確定性下的決策概念」，以應對這些不確定性因素。

B5.調適指引範例：以「公路系統規劃階段調適指引」做為範例，示範如何在調適業務中應用具體執行方法。

B6.調適案例分享：通過案例分析和分組討論，參與者將從範疇界定、盤點、評估、溝通到調適規劃執行等方面進行深入探討。學員將分享心得，並在講師的指導下，整合出最合理的調適執行方案。

B7.氣候財務風險揭露（TCFD）：本課程涵蓋氣候相關風險和機會的識別、氣候因素的整合、對財務績效影響的評估，以及揭露標準和框架（如TCFD（氣候相關財務揭露工作組）和GRI（全球報告倡議組織））的應用，以確保財務揭露的一致性和可比性。

3. 各運輸系統專業課程

C1.公路系統調適專業課程（衝擊特性、脆弱度評估、調適案例）：包括極端溫度、極端降雨、暴風、海平面上升對路面、橋梁、隧道、邊坡等設施及營運之影響。

C2.軌道系統調適專業課程（衝擊特性、脆弱度評估、調適案例）包括極端溫度、極端降雨、暴風、海平面上升對鐵軌、橋梁、隧道、邊坡、電線等設施及營運之影響。

C3.港埠調適專業課程（衝擊特性、脆弱度評估、調適案例）包括極端溫度、極端降雨、暴風、海平面上升對港口基礎設施、航道、導航設備及營運之影響。

C4.機場設施調適專業課程（衝擊特性、脆弱度評估、調適案例）包括極端溫度、極端降雨、暴風、海平面上升對跑道、航站、導航設備及營運之影響。

這些課程設計旨在針對不同運輸系統的特定需求，提供相關調適知識和技能，以提升應對氣候變遷挑戰的能力。整體課程規劃，包含課綱、上課時數、授課教師如表 5.5-2 所示。

表 5.5-2 整體調適課程規劃表

課程名稱	課綱	形式	時數	師資
A. 調適基礎課程		-	20	-
A1. 高階人員調適綜合課程	1. 氣候變遷基礎科學 2. 氣候變遷因應法 3. 永續指標與決策 4. 調適策略之產生及運用	講授	3	許晃雄（中研院環境變遷研究中心特聘研究員兼專題中心執行長）、徐旭誠（環境部技監）、童慶斌（臺灣大學生物環境系統工程學系教授）
A2. 氣候變遷及氣候災害	1. 氣候變遷基礎科學 2. 氣候災害及其運輸系統影響	講授	3	許晃雄（中研院環境變遷研究中心特聘研究員兼專題中心執行長）、徐佩君（中興大學生物與永續科技學位學程助理教授）、曾琬鈴（臺灣大學氣候永續學程專案助理教授）、周仲島（臺灣大學氣科學系名譽教授）
A3. 國家法規與政策	1. 氣候變遷因應法及相關法規 2. 國家調適行動推動架構 3. 目的事業主管機關權責	講授	3	徐旭誠（環境部技監）、葉信君（環境部氣候變遷署副組長）、何文淵（環境部氣候變遷署科長）
A4. 自然為本解決方案（NbS）概念	1. NbS 的定義與基本理念 2. NbS 推動策略與效益評估 3. NbS 評估指標	講授	3	李玲玲（臺灣大學生態學與演化生物學所教授）、廖桂賢（國立臺北大學都市計劃所教授）、黃于玻（社團法人中華民國自然生態保育協會理事長）
A5. 氣候變遷風險評估概論	1. 調適與防災差異 2. 氣候變遷風險評估概論 3. 風險評估準則	講授	3	陳永明（國家災害防救科技中心氣候變遷組長）、李欣輯（國家災害防救科技中心研究員）
A6. 氣候風險決策參考資訊	國家科學報告、AR6 報告解讀與應用	講授	3	趙家緯（臺灣環境規劃協會理事長）、李欣輯（國家災害防救科技中心研究員）

表 5.5-2 整體調適課程規劃表 (續 1)

課程名稱	課綱	形式	時數	師資
A7. 運輸法規與調適	因應調適之法令與規範調整及國外範例	講授	2	張文貞（臺灣大學法律學院特聘教授）、葉俊（臺灣大學法律學院講座教授）
B. 調適進階課程		-	48	-
B1. 氣象資料解讀及取得	歷史氣候基線、降尺度、測站與資料格式、氣象變異度	講授或工作坊	3	洪景山（氣象署組長）、陳孟詩（氣象署簡任技正）
B2. 氣候變遷風險評估準則及執行程序	風險評估準則、評估工具	講授或工作坊	3	陳永明（國家災害防救科技中心氣候變遷組長）、李欣輯（國家災害防救科技中心研究員）、童慶斌（臺灣大學生物環境系統工程學系教授）
B2-1. 風險評估作業前準備	高階承諾、專家、參與人員、執行時程	工作坊	3	陳永明（國家災害防救科技中心氣候變遷組長）、李欣輯（國家災害防救科技中心研究員）、童慶斌（臺灣大學生物環境系統工程學系教授）
B2-2. 風險評估範疇界定	定義組織與地理邊界	工作坊	3	陳永明（國家災害防救科技中心氣候變遷組長）、李欣輯（國家災害防救科技中心研究員）、童慶斌（臺灣大學生物環境系統工程學系教授）
B2-3. 脆弱度分析	選擇評估方法、決定評估資產	工作坊	6	陳永明（國家災害防救科技中心氣候變遷組長）、李欣輯（國家災害防救科技中心研究員）、童慶斌（臺灣大學生物環境系統工程學系教授）
B2-4. 執行風險評估	撰寫評估報告、利害關係人溝通	工作坊	3	陳永明（國家災害防救科技中心氣候變遷組長）、李欣輯（國家災害防救科技中心研究員）、童慶斌（臺灣大學生物環境系統工程學系教授）
B3. 融入調適措施時機與要點	策略、規劃、設計、施工、維運等階段融入調適措施時機	講授或工作坊	3	徐旭誠（環境部技監）、王筱雯（成大水利及海洋工程學系教授）
B3-1. 策略階段調適融入項目與時機	-	工作坊	3	徐旭誠（環境部技監）、王筱雯（成大水利及海洋工程學系教授）

表 5.5-2 整體調適課程規劃表（續 2）

課程名稱	課綱	形式	時數	師資
B3-2 規劃、設計階段調適融入項目與時機	-	工作坊	3	徐旭誠（環境部技監）、王筱雯（成大水利及海洋工程學系教授）
B3-3. 維運階段調適融入項目與時機	-	工作坊	3	徐旭誠（環境部技監）、王筱雯（成大水利及海洋工程學系教授）
B4. 面對高度不確定性之決策方法	無悔或低悔策略、情境規劃、調適路徑及穩健決策	講授或工作坊	3	陳亮全（銘傳大學都市規劃與防災學系客座教授）、童慶斌（臺灣大學生物環境系統工程學系教授）、洪啟東（銘傳大學 都市規劃與防災學系教授）
B5. 調適指引範例	公路系統規劃階段調適指引操作	講授或工作坊	3	吳清如（鼎漢國際工程顧問公司副總經理）、鼎漢團隊
B6. 調適案例分享（1）	從範疇界定、盤點、評估、溝通之完整調適執行案例	工作坊	3	王筱雯（成大水利及海洋工程學系教授）、劉奇璋（臺灣大學森林環境暨資源系教授）、李玲玲（國立臺灣大學生態學與演化生物學所教授）
B6.調適案例分享（2）	公路系統規劃階段調適指引操作案例	工作坊	3	吳清如（鼎漢國際工程顧問公司副總經理）、鼎漢團隊
B7. 氣候財務風險揭露（TCFD）	氣候變遷風險與機會、四大核心要素	講授或工作坊	3	蔡易廷（綠色生產力基金會專案經理）、郭士筠（中央研究院環境變遷研究中心「產業氣候變遷風險評估研究計畫」主持人）
C.各運輸系統專業課程（分公路、軌道、海運、航空 4 類）		-	4 × 12	-
C1-1. 公路系統衝擊特性	路面、橋梁、邊坡、場站設施營運等	工作坊	3	吳昆峯（交通大學運輸與物流管理學系教授）、劉霈（逢甲大學運輸與物流學系教授）、胡大瀛（成功大學交通管理科學系暨電信管理研究所教授）
C1-2. 公路系統脆弱度評估	路面、橋梁、邊坡、場站設施營運等	工作坊	3	
C1-3. 公路系統調適案例	國內、外公路運輸系統調適案例	工作坊	3	

表 5.5-2 整體調適課程規劃表（續 3）

課程名稱	課綱	形式	時數	師資
C2-1. 軌道系統衝擊特性	軌道、橋梁、邊坡、場站設施營運等	工作坊	3	鄭永祥（成功大學交通管理科學系暨電信管理研究所教授）、賴勇成（國立臺灣大學土木工程系交通組教授）、鍾志成（財團法人中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心主任）
C2-2. 軌道系統脆弱度評估	軌道、橋梁、邊坡港口基礎設施	工作坊	3	
C2-3. 軌道系統調適案例	國內、外軌道運輸系統調適案例	工作坊	3	
C3-1. 港埠衝擊特性	港埠基礎設施、導航、場站設施營運等	工作坊	3	楊鈺池（高雄科技大學航運管理系教授）、張瀞之（成功大學交通管理科學系暨電信管理研究所教授）、林泰誠（國立臺灣海洋大學航運管理學系教授）
C3-2. 港埠脆弱度評估	港埠基礎設施、導航、場站設施營運等	工作坊	3	
C3-3. 港埠調適案例	國內、外港埠調適案例	工作坊	3	
C4-1. 機場設施衝擊特性	跑道、導航、場站設施營運等	工作坊	3	盧曉櫻（長榮大學航管系教授）、詹士樑（臺北大學不動產與城鄉環境學系）
C4-2. 機場設施脆弱度評估	跑道、導航、場站設施營運等	工作坊	3	
C4-3. 機場設施調適案例	國內、外機場設施調適案例	工作坊	3	

為運輸系統各類人員提供適切的課程規劃建議，以應對氣候變遷對交通運輸系統的影響。以下分別列出高階主管、規劃設計人員、維運人員及財務人員所需上課課程及其先修課程要求。表 5.5-3 列出以公路系統為例的課程地圖。

表 5.5-3 以公路系統為例的課程地圖

課程名稱	時數	先修課程	高階主管	規劃、設計人員	維運人員	財務人員
A1. 高階人員調適綜合課程	3		✓			
A2. 氣候變遷及氣候災害	3			✓	✓	
A3. 國家法規與政策	3			✓	✓	✓
A4. 自然解方概念	3			✓	✓	
A5. 氣候變遷風險評估概論	3			✓	✓	
A6. 氣候風險決策參考資訊	3			✓		
A7. 運輸法規與調適	2	A3		✓	✓	
B1. 氣象資料解讀及取得	3			✓	✓	
B2. 氣候變遷風險評估準則及執行程序	3			✓	✓	
B2-1. 風險評估作業前準備	3	A3、A4、B1、B2		✓		
B2-2. 風險評估範疇界定	3	A3、A4、B1、B2		✓	✓	
B2-3. 脆弱度分析	6	A3、A4、B1、B2			✓	
B2-4. 執行風險評估	3	A3、A4、B1、B2		✓	✓	
B3. 融入調適措施時機與要點	3	B2		✓	✓	
B3-1. 策略階段調適融入項目與時機	3	B2、B3		✓		
B3-2. 規劃、設計階段調適融入項目與時機	3	B2、B3		✓		
B3-3. 維運階段調適融入項目與時機	3	B2、B3			✓	
B4. 面對高度不確定性之決策方法	3	A3、B2、B3		✓		

表 5.5-3 以公路系統為例的課程地圖（續）

課程名稱	時數	先修課程	高階主管	規劃、設計人員	維運人員	財務人員
B5. 公路系統調適指引	3	A3、B2、B3		✓		
B6. 調適案例分享（1）（2）	6	A3、B2、B3、B5		✓	✓	
B7. 氣候財務風險揭露非公司組織無需上課	3	A3、B2、B3		✓		✓
C1-1. 公路系統衝擊特性	3	A3、B2、B3、B5		✓	✓	
C1-2. 公路系統脆弱度評估	3	A3、B2、B3、B5		✓	✓	
C1-3. 公路運輸系統調適案例	3	A3、B2、B3、B5		✓	✓	

講授課程與工作坊執行方式規劃如下：

1. 講授課程：規劃將由本計畫提供共同課綱，由講授教師依課綱主題與基本資料，搭配講師個人經驗講授課程。

2. 工作坊：執行方式通常包括以下幾個步驟：

(1) 計劃和準備：

①確定工作坊的目標和預期成果。

②準備所需的材料和設備。

③設計課程內容和活動。

(2) 邀請參與者：

①確定參與學員。

②發送邀請和工作坊資訊。

③確認學員名單和特殊需求。

(3) 實施工作坊：

①開場和介紹工作坊目標。

②進行互動式教學和小組活動。

③鼓勵參與者積極參與和交流。

④提供實際操作或演練的機會。

(4) 評估和反饋：

①收集參與者的反饋意見。

②評估工作坊的效果和參與者的學習成果。

③記錄和分析反饋，以改進未來的工作坊。

3. 師資洽邀：依表 5.5-2 各授課主題提供師資名單，並經運研所同意後洽邀。

4. 核發時數認證：依行政院及所屬機關學校推動公務人員終身學習實施要點辦理，除上、下課簽到，課程結束後進行測驗，並於測驗合格後發予時數認證（併同申請公務人員學習時數）。

5. 滿意度調查：課程結束辦理滿意度調查，並對調查結果進行包含性別統計及性別與重要面向之交叉分析。

5.6 辦理運輸調適專業知識教育訓練

運輸系統是國家重要基礎設施，與民眾生活息息相關，而氣候變遷除造成全球暖化之外，乾旱、強降雨、暴風等極端天氣也將對運輸系統帶來明顯的衝擊與影響。為強化臺灣面對氣候變遷衝擊的能力，我國於 112 年2月修訂施行的「氣候變遷因應法」，其中第17條「為因應氣候變遷，政府應推動調適能力建構之事項」，即規範政府單位應強化氣候變遷調適之教育、人才培育，並推展相關活動，因此交通部積極規劃辦理調適教育訓練，以充實調適工作的人才、提升運輸系統的調適能力。

交通部運輸研究所為協助運輸管理機關（構）更深入瞭解氣候變遷調適觀念及在權管事務的應用，透過人才的培育強化調適能力建構，提升各運輸系統設施管理機關（構）調適專業能力，可協助運輸系統依調適推動要領，作好面對氣候變遷衝擊的準備以降低受到未來極端天氣與氣候事件下受影響程度，規劃一系列「建構運輸管理機關（構）之調適專業能力」教育訓練。在本年度（112 年）辦理的教育訓練課程為調適專業能力教育訓練中優先辦理的共通基礎課程，明年（113 年）將賡續辦理各項調適專業課程。

本年度（112 年）的教育訓練優先導入因應氣候變遷調適的基礎課程，期望藉由通識課程來拓展交通部所屬機關（構）及運輸事業單位對氣候變遷調適的知能，得以此為基礎進行後續調適專業能力的培力，使未來調適業務可在國家調適框架下順利推動。第一場次講授「氣候變遷基礎科學及氣候災害」和「氣候變遷風險評估」。第二場次分享「氣候變遷因應法修正重點以及相關推動政策」及「自然為本解決方案（NbS）概念」等調適專業知識。分別在 10 月 27 日及 11 月 13 日辦理。

【教育訓練第一場次】

1. 上課日期：2023 年 10 月 27 日（星期五）

2. 上課地點：觀光署旅遊服務中心訓練教室

3. 地址：臺北市松山區敦化北路 240 號 3 樓

4. 課程內容：

時間	課程名稱	課程大綱	講師
9:00-12:00	氣候變遷及氣候災害	1. 氣候變遷基礎科學 2. 氣候災害及其運輸系統影響	中興大學 循環經濟研究學院 徐佩君博士
13:20-16:20	氣候變遷風險評估概論	1. 調適與防災差異 2. 氣候變遷風險評估概論 3. 風險評估準則	國家災害防救科技中心李欣輯博士

1. 上課人員：本課程參加的學員來自交通部、交通部鐵道局、民用航空局、高速公路局、桃園國際機場公司、臺灣港務公司各地分公司、臺北及臺中捷運公司等運輸單位，以及交通部觀光署及中央氣象署，共 23 名學員參與課程，其中約 75%的學員是第一次參加氣候變遷調適相關課程。

2. 課程重點

(1) 氣候變遷及氣候災害

世界經濟論壇 2023 年的報告強調，環境和社會正面臨著前所未有的挑戰，其中包括氣候變遷，被認為將成為未來十年的主要挑戰之一。報告強調，減緩氣候變遷和成功進行調適將是當前最重要的風險管理任務。臺灣面臨著顯著的氣候變化，例如平地氣溫上升 1.3

度、夏季延長、豪雨增多，以及極端高溫日數的增加。預測未來氣溫可能進一步上升超過 3 度，並將導致極端天氣事件頻率進一步增加。這些變化主要由溫室氣體，特別是二氧化碳等的排放引起，而人類活動則加劇了這一現象。為了應對全球暖化，巴黎協定旨在限制全球氣溫上升，以減緩氣候變遷的影響。臺灣將「溫室氣體減量及管理法」修訂為「氣候變遷因應法」，以同時應對減緩和調適需求，並透過市場機制和基礎設施調整來強化對氣候變遷的應對。

2023 年全球多地發生的氣候災害，如地中海洪水、亞馬遜河乾涸、茂宜島野火和倫敦極端高溫，突顯了氣候變遷的嚴重性和迫切性。這些事件顯示極端天氣和氣候異常現象正在增加，對人類社會和自然環境造成了巨大的壓力。臺灣也面臨類似挑戰，極端高溫天數可能超過 100 天，且農業等部門受到暖冬等現象的直接影響。氣候變遷對運輸部門也帶來潛在威脅，極端天氣對交通系統的影響不容忽視。因此，除了全球努力減少碳排放外，也需強化防災和調適措施，包括基礎設施調整和運輸系統的改進，以應對日益嚴峻的氣候變遷挑戰。

(2) 氣候變遷風險評估概論

講師首先介紹國家防救災中心（NCDR）的組織定位與任務工作。根據災害防救法，NCDR 負責擔任行政院中央災害防救委員會及中央災害防救會報幕僚，提供行政院災害防救相關諮詢，並促進災害防救科技的研發與實施，加強災害防救政策與措施。同時，TCCIP 負責進行氣候模型的模擬與預測，評估未來可能的氣候變化情境。根據其模擬結果，臺灣的高溫日逐漸增加，而低溫日則呈下降趨勢；最大一日降雨日雨量增加，然而最大連續不降雨日同時也在增加。

講師針對防減災及氣候變遷調適兩個相互關聯但有些許不同的概念進行釐清及解釋。在定義上，防減災通常指的是減少災害發生的可能性，以及減輕災害發生時的損害程度，這包括預防措施、災害風險評估、建立防禦性基礎設施等。而氣候變遷調適是針對氣候變遷帶來的變化而採取的一系列措施，以應對新型災害風險和降低可能的損害。從範疇來看，防減災主要基於過去的災害經驗，專注於

降低災害再次發生的機率，同時建立有效的應急反應機制。而氣候變遷調適則更加廣泛，需要在考慮氣候變遷的背景下，調整對風險和損害的評估，並不僅僅考慮災害風險，還要考慮氣候變遷對社會、經濟及環境的綜合影響。

3. 課程活動剪影



圖 5.6.1 教育訓練第一場次上午課程活動剪影



圖 5.6.2 教育訓練第一場次下午課程活動剪影

【教育訓練第二場次】

1. 上課日期：2023 年 11 月 13 日（星期一）

2. 上課地點：集思台大會議中心尼采廳

3. 地址：臺北市大安區羅斯福路四段 85 號 B1

4. 課程內容：

時間	課程名稱	課程大綱	講師
9:00-12:00	自然為本解決方案（NbS）概念	1. NbS 的定義與基本理念 2. NbS 推動策略與效益評估 3. NbS 評估指標	生態專業技術服務同業公會 黃于玻 理事長
13:20-16:20	國家法規與政策	1. 氣候變遷因應法及相關法規 2. 國家調適行動推動架構 3. 目的事業主管機關權責	環境部技監 徐旭誠 博士

5. 上課人員：

本場次課程實體參加的學員來自交通部鐵道局、公路局、高速公路局、中央氣象署、桃園國際機場公司、臺灣港務公司各地分公司、臺灣高速鐵路公司及臺中捷運公司等運輸單位，以及線上學員共 37 名學員參與課程，其中仍約 33%的學員是第一次參加氣候變遷調適相關課程。

6. 課程重點

(1) 自然為本解決方案（NbS）概念

本門課程旨在介紹自然為本解決方案（Nature-based Solutions）的重要性和背後的理念。自然為本解決方案是為解決社會面臨的挑戰所提出的方案，同時為人類福祉和生物多樣性提供利益。講師首先解釋自然為本解決方案的定義，即通過保育、永續管理、復育或改變生態系統的行動，來處理人類社會面臨的挑戰，包括但不限於氣候變遷、糧食安全、水安全、減少災害風險、促進人類健康，以及維持經濟和社會發展。講師引用了 IUCN 的定義，特別強調通過保護、永續管理和恢復生態系統來實現對社會挑戰的調適回應，同時為人類福祉和生物多樣性帶來益處。

此外，NbS 還遵循以下八項基本原則：

① 掌握自然保育規範原則，確保不對生態系統造成進一步的損害。

② NbS 具有靈活性，可單獨實施，也可以與其他解方合併實施，以最大程度地滿足具體需求。

③ 需考慮到當地的自然和文化背景，包括傳統、地方和科學知識，以確保解決方案的調適性和永續性。

④ 能夠促進透明和廣泛的參與，以公平合理的方式產生社會效益。

⑤ 保持生物多樣性、文化多樣性及生態系隨時間演變的能力，確保解決方案的持久性。

⑥ NbS 應該在地景尺度上應用，而非鄉村尺度或社區單元任何尺度皆適用，需與當地環境和生態特點相符。

⑦ 確認並處理開發的短期經濟利益與未來全面生態系服務間的取捨，當生態與經濟考量衝突時，必須確保二者皆不可低於門檻值。

⑧ 這些原則應該成為政策、措施或行動整體規劃的不可或缺的部分，以應對特定挑戰。

(2) 國家法規與政策

本部分課程專注於探討氣候變遷對臺灣的影響及相應的國家法規與政策。氣候變遷已對臺灣的多個領域產生了顯著影響，包括溫度升高和極端天氣事件的增加。氣候變遷已對臺灣的水資源、農業、生態和公共衛生產生顯著影響，例如登革熱的爆發與氣候暖化的關聯。臺灣在製造和 IT 產業的領先地位，面對這些挑戰需要利用智慧科技來提高社會的適應能力。國際上，原先的京都議定書未能達成共識，於 2015 年被巴黎協定取代，旨在推動全球碳中和的目標。巴黎協定核心目標之一是增強城市的韌性，提升其對氣候變遷的容受力和恢復力。

臺灣自 2010 年開始推動氣候變遷調適政策，並於 2012 年制定國家氣候變遷調適政策綱領。政府開展全民調適教育，並針對不同學術領域制定教材。最初的「溫室氣體減量及管理法」著重於溫室氣體管制，後來擴展為「氣候變遷因應法」，不僅包括減緩措施，還涵蓋整體的氣候變遷策略。該法規強調政府在應對氣候變遷中的積極角色，明確界定了相應的權責機關，並建立了有效的規劃和執行機制。同時，法規強調了地方政府的角色，要求它們參與制定和實施本地化的氣候變遷調適計畫，以應對區域性的氣候變遷挑戰。

7. 課程活動剪影



圖 5.6.3 教育訓練第二場次上午課程活動剪影

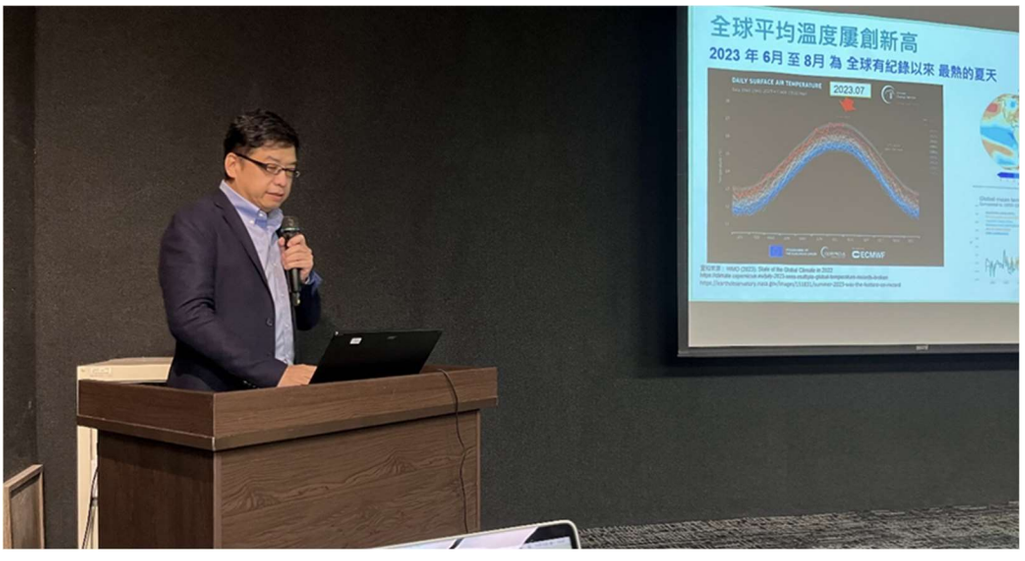


圖 5.6.4 教育訓練第二場次下午課程活動剪影

為瞭解課程前後學員對課程內容吸收程度，上課前後以相同題目由學員填寫問題，在氣候變遷基礎科學部分，大部分課前已有基礎概念，但較深入的問題如「假如人類立刻停止溫室氣體排放，全球平均溫度會...」，選出正確答案的比例即大幅提高40%以上，在氣候變遷風險評估課後，認為「防減災工作」和「氣候變遷調適」具有不同本質者也由64%提高至80%，顯示參加課程的學員對調適認知有明顯提升。

由學員回饋課程滿意度調查，這兩場氣候變遷調適基礎課程超過90%的參與者對講授的課程內容感到滿意，認為這些內容提升了他們的氣候變遷調適知識和技能，對他們的業務極有助益，並表示將推薦同事參與未來的系列課程。此次課程學員的男女比例接近 1:1，顯示氣候變遷調適議題不分性別均受到廣泛關注。

本次氣候變遷調適教育訓練為後續調適課程提供了示範，運輸研究所將繼續協助相關部門推動調適能力建構並提供相關資源，以確保我國的運輸體系能在氣候變遷帶來的挑戰下能夠持續運作，並朝國家永續發展的目標邁進。

5.7 小結

運輸系統調適專業課程經過第二章文獻回顧彙整氣候變遷調適國際發展趨勢及國內外調適課程資訊，並在第四章探討運輸管理機關(構)應具備之調適專業能力後，已能初步描繪調適課程應涵蓋的課程內容。為使課程符合運輸機關(構)人員之調適素養與業務推動需求，在規劃課程前，辦理問卷調查及深度訪談，了解目前運輸機關(構)人員調適基本素養亟待提升，仍須透過基礎調適課程增進運輸機關(構)人員提升調適素養為基礎，再規劃安排實務工作所需之課程，執行方式除講授課程外，宜安排工作坊的方式，以提高學員的實際操作能力。112 年先辦理調適基礎課程，實施成效良好，參加課程的學員對調適認知有明顯提升。

第六章 結論與建議

依據我國氣候變遷行動綱領，運輸系統被列為國家調適行動中「維生基礎設施」領域的關鍵項目。面對氣候變遷，運輸系統將遭遇多方面的衝擊與風險，因此，國際間已積極推動氣候變遷調適工作，以降低極端天氣所可能造成的嚴重損害。根據《氣候變遷因應法》，推動氣候變遷調適能力建構為各級政府應盡責任，因此，本計畫回顧國際氣候變遷調適發展趨勢及國內外運輸系統調適相關專業課程，並透過問卷調查與深度訪談，盤點運輸管理機關（構）人員之應具備的調適專業能力與缺口，規劃辦理運輸系統調適專業課程，以提升運輸管理機關（構）人員之調適專業能力。此外，本計畫針對《氣候變遷因應法》之法定事項及國際趨勢，滾動檢討我國運輸系統氣候變遷調適策略。

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運輸系統調適課程建議方向供參考。

6.1 結論

1. 滾動檢討提出新版運輸系統調適四大策略 15 項措施

本計畫以本所 2021 年「公路系統規劃階段強化調適能力之探討(1/2)」研擬之運輸系統調適四大策略 15 項措施為基礎，參考國內外氣候變遷調適發展趨勢、氣候變遷因應法，建議需落實加強整合跨領域及跨層級工作、納入綠色金融機制、加強人才培育、考慮脆弱群體、社區及原住民族為本，並適合納入自然為本的解決方案。經檢討，運輸系統調適四大策略 15 項措施維持不調整（表 6.1.1），僅將上述重點分別納入以下措施之內容說明中：

(1) 措施 1-3「檢討並將氣候調適概念納入規範或作業程序」納入了解自然為本理念，包括自然為本解決方案之準則、應用及限制。

(2) 措施 4-1「建立調適計畫投資決策評估方法」納入運輸管理機關(構)應將氣候風險與機會納入營運策略；並強化資金調度及取得，善用公共與公私合作夥伴關係，利用內部預算分配及私人部門資金，如贈款、擔保、股權、優惠性債務、市場債務與及保險等財務工具。

(3) 措施 4-4「強化氣候調適跨域整合推動與機制」納入交通部應評估運輸系統正常運作時所需其他非運輸單位（如能源機關、數位機關）資源。運輸管理機關（構）應全面盤點極端天氣推估和模擬結果，針對國內科研單位所提供的各種氣象因子對運輸系統可能造成的影響情境進行分析。此外，應綜合考量系統維持正常營運所依賴的非運輸單位資源（如能源機關、數位基礎設施等），以確保整體系統具備足夠的韌性應對氣候變遷衝擊。

(4) 措施 4-5「培育氣候變遷風險管理與調適專業人才」納入交通部應優先規劃調適相關專業課程，辦理教育訓練；而運輸管理機關（構）也應各自規劃機關（構）內調適相關專業課程，辦理教育訓練。

(5) 措施 4-6「調適計畫與利害關係人溝通或合作」除原先辨識利害關係人之外，納入確認脆弱群體。在政策及措施應融入綜合性與以社區為本，在原住民保留地需以原住民族為本。

表 6.1-1 運輸系統氣候變遷調適四大策略及 15 項措施

策略	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
	1-2	迴避高風險潛勢地區持續受損點位改、廢線
	1-3	檢討並將氣候調適概念納入規範或作業程序
	1-4	運用或研發新科技、材料、工程工法或設備
	1-5	強化跨運輸系統的運輸連結性
強化預警應變力	2-1	建構跨運輸系統預警應變網絡
	2-2	檢討並調整氣候變遷環境下之風險監測機制
提高系統回復力	3-1	建立分階段復建原則
	3-2	建立運輸系統設施的內部與外部備援方案
增進決策支援力	4-1	建立調適計畫投資決策評估方法
	4-2	建立調適計畫監控與滾動檢討機制
	4-3	建置或應用風險管理與調適所需資料庫及工具
	4-4	強化氣候調適跨域整合推動與機制
	4-5	培育氣候變遷風險管理與調適專業人才
	4-6	調適計畫與利害關係人溝通或合作

此外，本計畫並針對每個策略措施蒐集相關實務應用案例資料，提供運輸管理機關（構）後續之參考應用。

2. 研析運輸管理機關（構）調適專業能力缺口

本計畫透過問卷調查和深度訪談兩階段方式，其中邀請交通部、公路局、高速公路局、鐵道局、臺鐵公司、高鐵公司、民航局、桃機公司、航港局、港務公司及觀光署協助填寫問卷，並進行相關機關（構）深度訪談，以了解各單位之調適專業能力缺口。成果分別說明如下：

(1) 問卷調查：

① 設計過程：問卷經過文獻參考、研擬草案、預試及回饋修正等步驟執行問卷設計。問卷內容涵蓋基本資料、氣候變遷調適認知、調適知識等方面。

② 調查結果：

- 在認知部分，過半數認為其對氣候變遷調適掌握度有限，對運輸方面的應用內涵和實施方法不夠了解，顯示出對氣候變遷調適有潛在學習需求。
- 在知識部分，雖然能夠掌握我國氣候變遷政策，但對國際議題、全球目標，以及「調適」與「減緩」（減碳）、「防災」的區別了解不足，顯示整體調適知識程度尚待提升。

(2) 深度訪談：

① 各單位大概自「國家氣候變遷調適行動方案」第一期（102-106年）開始接觸「調適」概念，惟歷來氣候變遷相關業務多以溫室氣體「減緩」為主。因此當「氣候變遷因應法」明訂調適法定工作後，氣候變遷調適在運輸方面的應用內涵及做法亟需引導。

② 整體而言，運輸管理機關（構）的氣候變遷調適工作尚於起步階段；雖然桃園機場公司在國際規範引導下，氣候變遷調適業務推展較快，但如何依我國氣候變遷因應法之調適法規政策，進行風險評估和實際執行，仍需進一步探討。

③ 對於課程需求，受訪者未提出較具體建議。然而，多數意見指向運輸規劃/設計、工程/施工、營運、工務養護、環境安全衛生等部門，這些部門應列為本計畫優先授課對象。此外，在課程

執行方法上，應關注授課對象的「學習動機」與「學習誘因」。

3. 運輸管理機關（構）應具備之調適專業能力

調適專業知能範疇廣泛，涵蓋工程技術、財務規劃、風險評估、自然為本解決方案及氣候正義等方面。從實務觀點，這些能力應包括依法規劃、推動維生基礎設施領域氣候變遷調適行動方案及彙整調適成果報告等。本計畫參考國內外運輸系統調適相關資料，探討運輸管理機關（構）應具備之調適專業能力，包括：

(1) UNFCCC 運輸部門氣候行動到 2050 年關鍵願景里程表分析顯示，調適進程初期側重於風險評估、調適計畫、調適法規與交通公平；後期則增加財務風險規劃及自然為本解決方案（NbS）的導入，並強調新技術的發展。歸納入運輸管理機關（構）人員應具備之調適專業能力至少需包含：掌握國家調適行動方案及國際發展趨勢、提出氣候變遷對交通設施潛在影響的之氣候衝擊因子、認識調適相關法規、瞭解自然為本解決方案（NbS）的概念、工程財務規劃概念。

(2) 「國家氣候變遷調適行動計畫（112-115 年）」參考國內外調適推動方法，將調適工作分為「辨識氣候風險與調適缺口」及「調適規劃與行動」等階段；第一階段「辨識氣候風險與調適缺口」，包括調適課題辨識、現況風險盤點、未來風險及調適缺口辨識等工作，第二階段「調適規劃與行動」針對前述風險評估與調適缺口擬定具體目標，進行調適選項評估，逐步落實調適行動與監測，定期滾動檢討。

(3) 綜整國內外運輸系統調適相關的專業課程，歸納交通部門應具備的氣候變遷調適能力。首先，需學習氣候變遷的基礎概念，包括定義、影響因素和大氣環流模式等，以及國家的氣候變遷策略。其次，深入了解不同交通系統（如公路、鐵路、港埠、機場）的氣候變遷調適策略，應重點考慮影響較大的氣候衝擊。進一步學習氣候資料的解讀，區分氣象、極端天氣和氣候變遷的區別，並能解析氣候趨勢和事件。從業人員應具備風險評估與管理的能力，了解氣候變遷對交通設施可能造成的影響，並意識到不積極因應的風險。

(4) 綜上，運輸管理機關（構）人員專業知能應包括調適專業能力通識知能及各運輸系統專業領域知能兩大類：

① 通識型知能：氣候變遷基礎科學、國家政策與法規認識、風險評估概論、運輸系統氣候變遷調適通論。

② 各運輸系統氣候變遷調適專業知能：針對公路、軌道、港埠及機場四大運輸系統，分別探討可能面臨的氣候災害，再依據不同災害形式建構調適能力需求。

4. 規劃運輸調適專業課程

為規劃運輸系統因應氣候變遷調適課程，本計畫從國內外調適發展趨勢，以及運輸管理機關（構）問卷及深度訪談結果，歸納需先透過氣候變遷調適基礎課程，建構運輸管理機關（構）人員基礎調適知能，包括「氣候變遷調適」相關法規、指引（如環境部制訂中之風險評估指引），以及氣象署、NCDR 可提供的科技接軌資源等。此外，綜合國內外調適課程與訓練教材，並經專家學者建議，完成整體課程規劃，成果說明如下：

(1) 運輸調適課程分為「運輸系統調適共同課程」及「各運輸系統專業課程」兩大類，而「運輸系統調適共同課程」再依課程屬性分為「調適基礎課程」與「調適進階課程」。

(2) 「調適基礎課程」涵蓋基礎科學、理念與法規類，採講授方式授課，「調適進階課程」與「各運輸系統專業課程」則為執行方法與指引類課程，採講授或工作坊方式實施：

① 調適基礎課程（7 門課程）：包括高階人員調適綜合課程、氣候變遷及氣候災害、國家法規與政策、自然為本解決方案(NbS)概念、氣候變遷風險評估概論、氣候風險決策參考資訊、運輸法規與調適。

② 調適進階課程（15 門課程）：包括氣象資料解讀及取得、氣候變遷風險評估準則及執行程序、融入調適措施時機與要點、面對高度不確定性之決策方法、調適指引範例及調適案例分享、氣候財務風險揭露等。

③ 各運輸系統專業課程（12 門課程）：涵蓋公路、鐵路、海運及空運之氣候變遷衝擊特性、風險評估及調適案例分析。

(3) 提出完整的氣候變遷調適整體課程規劃表，包括課綱、上課時數及

師資安排，並建議優先安排以下主題的課程：氣候變遷基礎科學、國家政策與法規認識、氣候風險評估概論、相關法規基本認識和修訂需求、自然為本解決方案（NbS）。

5. 辦理氣候變遷調適教育訓練課程 2 場次共計 4 門課（12 小時），課程包括：

   (1) 氣候變遷及氣候災害：課程大綱包括氣候變遷基礎科學及對運輸系統影響。

   (2) 氣候變遷風險評估概論：課程大綱包括調適與防災差異、氣候風險評估概論、風險評估準則。

   (3) 自然為本解決方案（NbS）概念：課程大綱包括 NbS 的定義與基本理念、NbS 的推動策略與效益評估及 NbS 評估指標。

   (4) 國家法規與政策：課程大綱包括氣候變遷因應法及相關法規、國家調適行動推動架構，以及相關法規下目的事業主管機關之權責。

6.2 建議

1. 目前我國氣候變遷調適工作，主要由主管機關在各調適領域項下研提相關調適行動計畫據以推動，可能無法全面涵蓋所有相關議題。建議借鑑其他國家在解決氣候變遷問題方面的成功經驗，尤其是跨部門合作和多層級治理的作法，來整合資源和推動調適措施，以制定出更全面的調適策略，提高工作實效性和持續性。

2. 提升運輸管理機關（構）應具備之調適專業能力

   (1) 建議優先加強提升高階主管對調適認知，因為高階主管的認知和承諾是推動各項業務的基石，有助於從上而下整合和協調各相關單位。

   (2) 運輸管理機關（構）除派員參加國內調適教育訓練課程外，建議也可主動派員出國參訪受訓，以便於學習並吸收國外調適工作的細節和實施經驗。建議可至調適辦理成效良好的國家或地區，進行實地考察和交流，以取得全面且準確的資訊。在派遣人員出國前，宜先在國內接受一些基本的調適課程培訓。

3. 目前國內運輸調適領域缺乏足夠的專業師資和教材資源，這使得調適規

劃課程的開設變得困難。為提升調適能力，建議應加強對專業師資的培訓，並引進針對氣候變遷調適的教材，包括最新的教學資料和實踐指南。這些教材應根據我國的實際情況進行調整，以整體提升運輸人員調適能力。

4. 預算是各項工作執行的基本資源，建議相關調適工作應納入預算編列。有關調適預算編列原則建議如下：

   (1) 將氣候變遷調適納入專案開發的評估流程中，例如可行性研究、選址決策、環境影響評估等，這些通常會增加 1%至 10%的評估成本。

   (2) 專案開發的調適經費將排擠其他建設或開發經費，且考慮到氣候變遷情境的高度不確定性，建議應多方案審慎評估，以便投入相關調適預算。

5. 氣候變遷調適課程及實施方式建議如下：

   (1) 為強化本計畫調適專業課程之推廣，建議可取得授課教師的同意，將授課影像或教材放置於網站上或其他形式提供，以方便運輸管理機關（構）同仁參考和學習。

   (2) 本計畫 2 年期完成整套調適課程規劃後，可提供各運輸管理機關(構)作人員培訓之參考應用；建議各機關（構）針對自身的業務特性，進行符合需求之課程規劃。

   (3) 本計畫所規劃之課程建議後續可根據陸續公告之氣候變遷因應法施行細則、準則等相關法規，以及我國調適推動政策實際執行情況，對課程進行必要的調整。

6. 經與各運輸管理機關（構）深度訪談結果顯示，目前交通部提出的運輸系統調適策略措施，部分機關（構）了解程度不足，對各單位執行業務的影響力有限，建議持續宣導並納入調適課程規劃：

   (1) 加強宣導的多元管道，除了傳統文宣外，建議納入政策指導文件、數位宣導工具及視覺化展示等方式，進一步提升各運輸管理機關(構)對氣候變遷調適策略措施的理解與應用。

   (2) 將運輸系統調適策略的具體內容與理念融入課程設計，並舉辦教育訓練。除了課程講授外，建議亦可結合工作坊，提供實際操作機會，

強化學員的學習效果及實務應用能力。

參考文獻

1. 國家發展委員會，國家氣候變調適政策綱領，民國 101 年。
2. 行政院，國家氣候變遷調適行動計畫（102-106 年），民國 102 年。
3. 行政院，國家氣候變遷調適行動方案（107-111 年），民國 108 年。
4. 行政院，國家氣候變遷調適計畫（112-115 年），民國 112 年。
5. 國科會，IPCC 氣候變遷第六次評估報告「衝擊、調適與脆弱度」之科學重點摘錄與臺灣氣候變遷衝擊評析更新報告，民國 111 年。
6. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis.* Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC. (2021)
7. U.S. Department of Transportation. *Climate Action Plan.* (2021)
8. United Nations Economic Commission for Europe. *Climate Change Impacts and Adaptation for Transport Networks and Nodes.* (2020)
9. Koks, E. E., Rozenberg, J., Zorn, C., et al. *A global multi-hazard risk analysis of road and railway infrastructure assets.* Nature Communications, 10, 2677. (2019)
10. International Civil Aviation Organization. *Climate Risk Assessment, Adaptation and Resilience: Key Climate Change Vulnerabilities for Aviation Organizations.* (2022)
11. Christodoulou, A., & Demirel, H. *Impacts of climate change on transport: A focus on airports, seaports and inland waterways.* EUR 28896 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. (2018)
12. United Nations Conference on Trade and Development. *Climate Change Impacts and Adaptation for Coastal Transport Infrastructure: A Compilation of Policies and Practices.* (2020)
13. IPCC. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the IPCC. (2022)
14. IPCC. *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change.* Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the IPCC. (2022)
15. UNFCCC. *Summary of Global Climate Action at COP 27.* (2022)
16. MEDDE. *National Climate Change Adaptation Plan 2011-2015.* (2011)

17. Colin, M., Palhol, F., & Leuxe, A. *Adaptation of transport infrastructures and networks to climate change.* Transportation Research Procedia, *14*, 86–95. (2016)
18. United Nations Economic Commission for Europe. *Climate Change Impacts and Adaptation for Transport Networks and Nodes.* (2020)
19. Transport for London. *Climate Change Adaptation Plan.* (2023)
20. U.S. Department of Transportation. *Climate Action Plan: Bolster Adaptation & Increase Resilience.* (2021)
21. Meeting of the Minds. *Transit and Climate Adaptation: Transit and Equity*.
22. Carver, J. Z., & Yassir, A. *Assessment of Transportation Systems Resilience for Vulnerable Communities and Populations.* (2002)
23. Alonso-Epelde, E., García-Muros, X., & Gonz´alez-Eguino, M. *Transport poverty indicators: A new framework based on the household budget survey.* Energy Policy, 181. (2023)
24. 林至康編著、陳文字審閱，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，民國 111 年。
25. 交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（2/2）-強化調適能力作為與指引，民國 111 年。
26. Federal Highway Administration. *Adaptation to Climate Change in Transportation Operations and Maintenance - Technical Staff Briefing.* (2020)
27. European Commission. *Guidelines for Project Managers: Making Vulnerable Investments Climate Resilient.* (2011)
28. International Civil Aviation Organization. *Climate Risk Assessment, Adaptation and Resilience: Key Steps in Aviation Organization Climate Change Risk Assessment and Adaptation Planning.* (2022)
29. Nemry, F., & Demirel, H. *Impacts of Climate Change on Transport: A Focus on Road and Rail Transport Infrastructures.* EUR 25553 EN, Luxembourg: Publications Office of the European Union. (2012)
30. Bles, T., et al. *Guidelines for Adaptation of Road Infrastructure to Climate Change.* (2019)
31. International Transport Forum. *Adapting Transport to Climate Change and Extreme Weather: Implications for Infrastructure.* (2016)
32. 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。

33. 交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2），民國 110 年。
34. European Commission. *Forging a Climate-Resilient Europe: The New EU Strategy on Adaptation to Climate Change.* (2021)
35. Department of Transport. *Tourism and Sport, Transport Climate Change Sectoral Adaptation Plan.* (2019)
36. Japan International Cooperation Agency. *Guidance on Climate Risk Assessment and Adaptation.* (2019)
37. Federal Highway Administration. *Addressing Resilience to Climate Change & Extreme Weather in Transportation Asset Management.* (2023)
38. United Nations Conference on Trade and Development. *Climate Change Adaptation for Seaports in Support of the 2030 Agenda for Sustainable Development.* (2020)
39. Heathrow Airport. *Assessing Adaptation Challenges and Increasing Resilience at Heathrow Airport*. (2016)
40. Network Rail. *West of Exeter Route Resilience Study.* (2014)
41. Federal Highway Administration. *Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: An Implementation Guide.* (2019)
42. European Environment Agency. *Innovative pavement solution for the mitigation of the urban heat island effect.* (2018)
43. Environmental and Energy Study Institute. *Climate Change Mitigation and Adaptation at U.S. Ports.* (2022)
44. European Environment Agency. *Crises and disaster management systems and plans.* (2015)
45. European Environment Agency. *Climate impact and risk assessment 2021 for Germany – Summary.* (2021)
46. European Environment Agency. *Climate change adaptation and disaster risk reduction in Europe.* (2017)
47. Roadex Network. *Floating or elevated roads.* (2010)
48. Spizzichino, D., et al. *Climate Change, Landslide Risk Assessment and Adaptation Policies: The Urban Area of Ancona Municipality.* (2015)
49. European Environment Agency. *Resilience of large investments and critical infrastructures in Europe to climate change.* (2016)
50. PIARC World Road Association. *Strategic plan 2020-2023.* (2020)
51. World Bank. *Climate Change Knowledge Portal (CCKP).* (2015)

52. Organization for Economic Co-operation and Development. *Climate-resilient infrastructure: Getting the policies right.* (2017)
53. Becker, A., Acciaro, M., Asariotis, R., Carera, E., Cretegny, L., Crist, P., et al. *A note on climate change adaptation for seaports: A challenge for global ports, a challenge for global society.* Climatic Change, 120(4), 683-695. (2013)
54. Airports Council International Europe. *ACI Policy Brief: Airport ownership, economic regulation and financial performance.* (2017)
55. IPCC. *Synthesis Report of the IPCC 6th Assessment Report: Summary for Policymakers.* (2023)
56. 國科會，國家氣候變遷科學報告 2017，民國 106 年。
57. 國科會，國家氣候變遷科學報告 2024，民國 113 年。
58. 環境部，氣候變遷專有名詞手冊，民國 112 年。
59. 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫（TCCIP），https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ark_02_method.aspx.
60. Robert Willows, Richenda Connell, et al. *Climate adaptation: Risk, uncertainty and decision-making.* UKCIP Technical Report. (2003)
61. International Organization for Standardization. *ISO 14091 Adaptation to Climate Change —Guidelines on Vulnerability, Impacts and Risk Assessment.* (2021)
62. Seddon, N., et al. *Global recognition of the importance of nature-based solutions to the impacts of climate change.* Global Sustainability. (2020)
63. World Bank. *The Nature-Based Solutions Opportunity Scan: Leveraging Earth Observation Data to Identify Investment Opportunities in NBS for Climate Resilience in Cities and Coasts across the World.* (2024)
64. Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (Eds.) *Nature-based Solutions to address global societal challenges.* IUCN, Gland, Switzerland. (2016)
65. 安永聯合會計師事務所，氣候相關財務揭露建議，民國 108 年。
66. United Nations Environment Programme Finance Initiative. *Global Insurance Industry Statement: Building climate and disaster-resilient communities and economies.* (2013)
67. International Organization for Standardization. *ISO 14090 Adaptation to climate change — Principles, requirements and guidelines.* (2019)
68. 童慶斌、李明旭，水資源領域因應氣候變遷不確定性之決策機制研究，民國 102 年。

69. Inter-American Development Bank. *A DMDU Guidebook for Transportation Planning Under a Changing Climate.* (2021)
70. European Environment Agency. *Adaptation of transport to climate change in Europe: Challenges and options across transport modes and stakeholders.* (2014)

附錄 1

計畫摘要

附錄 1 計畫摘要

一、 計畫緣起與目的

氣候變遷對於運輸系統帶來多面向的挑戰和風險，而根據我國「氣候變遷行動綱領」,「運輸系統」已被列為國家調適行動中的「維生基礎設施」關鍵項目。隨著全球極端天氣事件的頻率和強度持續增加，國際趨勢也逐漸將焦點放在運輸系統的調適工作上，以減少潛在的嚴重損害。

「氣候變遷因應法」已明定，推動氣候變遷調適能力建構是各級政府應負的責任。因此，為了確保各項調適準備工作能夠依照我國調適政策的推動方向順利執行，並有效降低未來極端天氣對運輸系統的衝擊，各運輸管理機關（構）的人員調適專業能力將成為調適工作的關鍵基石。

本計畫旨在針對運輸管理機關（構）人員所應具備的調適專業能力進行盤點，並針對現有能力與實際需求之間的缺口，規劃並辦理運輸系統調適專業課程，最終目標是提升運輸管理機關（構）人員在面對氣候變遷時的調適專業能力，確保運輸系統能夠在未來的氣候挑戰中保持穩定運作並降低損害風險。

二、 重要工作成果

本計畫主要研究成果包含：(1) 滾動檢討提出新版運輸系統調適四大策略 15 項措施、(2) 透過文獻回顧及專家諮詢，初步列舉運輸管理機關（構）應具備之調適專業能力、(3) 透過問卷調查及機關訪談，盤點運輸管理機關（構）調適專業能力缺口、(4) 規劃運輸適專業課程、(5) 辦理氣候變遷調適教育訓練課程，依序說明如下。

1. 滾動檢討提出新版運輸系統調適四大策略 15 項措施

我國「氣候變遷因應法」於 112 年 2 月公布施行,「國家因應氣候變遷行動綱領」亦於同年 11 月奉行政院核定，相關易受氣候變遷衝擊領域、範疇、目標，皆已因應國際氣候變遷調適趨勢及國內環境需求進行調。因此，運輸系統調適策略理應適時適情進行滾動檢

視修正，本計畫相關檢討成果說明如下：

(1) 經分析「氣候變遷因應法」調適專章之規範事項及國際最新氣候變遷調適發展趨勢，運輸研究所前期研提之運輸系統調適四大策略 15 項措施可進一步補強相關內容，說明如下：

① 缺乏跨領域及跨層級整合機制

② 對於國家綠色金融政策之應對配合考量不全面

③ 運輸系統調適人才培育機制不明確

④ 缺乏以脆弱群體、社區及原住民族為本的調適策略

⑤ 未充分考慮以自然為本的解決方案

(2) 根據上述滾動檢討結果，運輸系統調適策略仍維持原有的四大策略與 15 項措施之框架（如附表 1-1），但在部分措施方向上，補強說明上述檢討的不足項目。

(3) 針對運輸系統調適四大策略 15 項措施之各措施，補充蒐集及強化實務應用案例資料，提供運輸管理機關（構）後續應用之參考。

(4) 透過機關訪談徵詢相關意見（訪談單位包括公路局、高速公路局、鐵道局、臺鐵公司、民航局、桃機公司、航港局、港務公司、中央氣象署及觀光署等 10 個單位），並諮詢相關專家學者，完成運輸系統四大策略 15 項措施滾動檢討修訂，如附表 1-2。

附表 1-1 運輸系統氣候變遷調適四大策略及 15 項措施

策略	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
	1-2	迴避高風險潛勢地區持續受損點位改、廢線
	1-3	檢討並將氣候調適概念納入規範或作業程序
	1-4	運用或研發新科技、材料、工程工法或設備
	1-5	強化跨運輸系統的運輸連結性
強化預警應變力	2-1	建構跨運輸系統預警應變網絡
	2-2	檢討並調整氣候變遷環境下之風險監測機制
提高系統回復力	3-1	建立分階段復建原則
	3-2	建立運輸系統設施的內部與外部備援方案
增進決策支援力	4-1	建立調適計畫投資決策評估方法
	4-2	建立調適計畫監控與滾動檢討機制
	4-3	建置或應用風險管理與調適所需資料庫及工具
	4-4	強化氣候調適跨域整合推動與機制
	4-5	培育氣候變遷風險管理與調適專業人才
	4-6	調適計畫與利害關係人溝通或合作

附表 1-2 調適策略滾動檢討結果

措施	措施重點調整草案
4-1 建立調適計畫投資決策評估方法	■交通部 ・建立氣候變遷調適計畫成本效益評估方法並持續精進。 ・規範調適計畫於預算申請時檢附計畫成本效益評估作佐證。 ■設施管理機關（構） ・將氣候風險與機會納入營運策略。 ・強化資金調度及取得，善用公共與公私合作夥伴關係，利用內部預算分配及私人部門資金，如贈款、擔保、股權、優惠性債務、市場債務與及保險等財務工具。
4-4 強化氣候調適跨域整合推動與機制	■交通部 ・推動運輸系統氣候變遷調適整合推動平台與機制，鼓勵資料共享。 ・評估運輸系統正常運作時所需其他非運輸單位(如能源機關、數位機關）資源。 ■設施管理機關（構） ・盤點極端天氣推估模擬科研單位國家情境下各種可能影響系統氣象因子之影響情境。 ■盤點維持系統正常營運所需其他非運輸單位（如能源機關、數位機關）資源。
4-5 培育氣候變遷風險管理與調適專業人才	■交通部 ・推動運輸系統氣候變遷調適整合推動平台與機制，鼓勵資料共享。 ・評估運輸系統正常運作時所需其他非運輸單位(如能源機關、數位機關）資源。 ■設施管理機關（構） ・盤點極端天氣推估模擬科研單位國家情境下各種可能影響系統氣象因子之影響情境。 ■盤點維持系統正常營運所需其他非運輸單位（如能源機關、數位機關）資源。
4-6 調適計畫與利害關係人溝通或合作	■設施管理機關（構） ・辨識利害關係人，且應確認納入脆弱群體。 ・政策及措施應融入綜合性與以社區為本，在原住民保留地需以原住民族為本。 ・建立雙向風險溝通與資訊教育之機制。 ・建立利害關係人可合作調適計畫的不同機制。
1-3 檢討並將氣候調適概念納入規範或作業程序	■設施管理機關（構） ・了解自然為本理念，包括自然解方之準則、應用及限制。 ・檢討並提高設施抗氣候變遷環境標準。 ・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。 ■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。

2. 研析運輸管理機關（構）應具備之調適專業能力

調適專業知能的範疇非常廣泛，涵蓋法規規範、工程技術、財務規劃、風險評估，到以自然為本解決方案及氣候正義等領域。從實務角度而言，提升運輸管理機關（構）人員調適知能，有利於氣候變遷調適相關法規的執行，包括依法規劃與推動運輸系統調適行動方案，並彙整成果報告。本計畫參考國際氣候變遷調適發展趨勢、UNFCCC 運輸部門氣候行動關鍵願景各階段目標，並依據國內外運輸系統調適專業課程，將運輸管理機關（構）人員應具備之調適專業能力劃分為 3 類，說明如下：

(1) 調適基礎能力：涵蓋調適基礎認知，包含氣候變遷基礎科學、國家政策與法規認識、氣候風險評估概論及其他基礎知識，如因應氣候法修訂的運輸法規需求、自然為本解決方案之應用與限制、工程財務規劃概念等。

(2) 調適進階能力：包括氣象資料解讀、氣候變遷風險評估的執行程序、各階段工作融入調適措施的時機與要點，以及在高度不確定性情況下的決策方法。透過分享調適案例，能進一步提升此類進階能力。

(3) 運輸系統領域調適專業知能：針對公路、軌道、機場及港埠四大運輸系統領域，依據其在氣候變遷下所面臨的不同災害類型，探討各別的調適能力需求，同時促進跨系統的整合與協作。

3. 盤點運輸管理機關（構）調適專業能力缺口

本計畫基於前述運輸系統應具備之調適專業能力分析，以問卷及深度訪談兩階段方式，對象涵蓋陸運、海運及空運等 8 個交通部相關運輸管理機關（構）、高鐵公司、中央氣象署及觀光署等單位，就各單位人員調適能力缺口及課程需求進行盤點，其中問卷以線上問卷方式辦理，不限定調適業務相關承辦人員，目的在於了解運輸系統人員調適認知素養基線，深度訪談對象則為調適相關業務承辦人及主管人員。成果分別說明如下：

(1) 問卷調查：

① 本計畫設計及發放之問卷，經參考相關文獻、專家討論、問卷

預測及依回饋修正等嚴謹程序，問卷內容包括人員基本背景蒐集、氣候環境變遷調適認知、氣候環境變遷調適素養相關知識、情意和行為等項目，問卷對象涵蓋交通部路政司（交通部組改前）、航政司、公路局、高速公路局、鐵道局、臺鐵公司、民航局、桃機公司、航港局、港務公司、高鐵公司及觀光署，有效問卷回收數量計 200 份。本次問卷回收結果，對氣候變遷基礎素養基線建立具相當代表性，問卷本身亦適宜作為後續能力提升調查時使用。

② 運輸系統機關（構）人員對氣候變遷調適之背景認知，過半數人員自評其對氣候變遷調適認知掌握度有限，且不瞭解運輸系統調適之應用內涵及作法，顯示人員普遍具備建立氣候變遷調適基礎認知之潛在需求。

③ 部分氣候行動相關業務承辦人員，雖知曉我國氣候變遷政策基本論述，但對於國際議題及全球目標之理解，以及對「調適」、「減緩」（減碳）、「防災」的區別等問題的定義與區隔，仍處於模糊或不甚清晰階段，顯示整體調適知識程度尚待提升。

(2) 深度訪談：

① 本計畫深度訪談對象包括公路局、高速公路局、鐵道局、臺鐵公司、民航局、桃機公司、航港局、港務公司、中央氣象署及觀光署等 10 個交通部所屬機關（構）。

② 本計畫針對不同訪談機關（構），均依其服務或業務性質，初步判識機關（構）於氣候變遷行動扮演之角色，設計有不同訪綱內容；於提供運輸系統建設及服務之機關（構），著重於人員能力與需求缺口之挖掘；於氣象資訊產製及整合單位（中央氣象署），則以瞭解機關（構）業務可支援協助調適工作進行討論。

③ 整體而言，因應「氣候變遷因應法」公布施行，在法定工作上，運輸管理機關（構）氣候變遷調適工作尚在起步階段。其中桃園機場在國際規範引導下，在氣候變遷調適業務推展較快，但在了解執行程序與框架的基礎下，如何進一步依我國調適法

規政策工具及實際執行風險評估等工作，則需要配合我國一致性。

④ 各機關（構）對於所屬單位人員對調適能力缺口需求均表示，由於尚未實質展開下一階段調適工作，無法提出較具體建議，但多數機關提出對於運輸規劃/設計、工程/施工、設施營運、工務養護、環境安全衛生等部門，因屬各機關的調適業務主辦及協辦單位，應列為優先強化對象；且在強化學習之執行方法上，則建議注重人員的「學習動機」與「學習誘因」。

(3) 根據運輸管理機關（構）調適專業能力缺口問卷與訪談結果顯示，各機關（構）對調適的了解有限，應從基礎課程循序提升各項調適知識及推動能力建構。

4. 規劃運輸調適專業課程

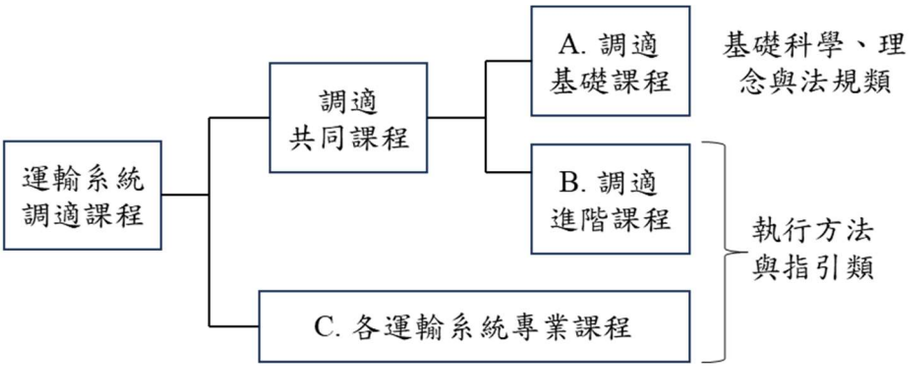
(1) 綜合上述運輸系統調適應具備能力之分析、盤點運輸管理機關（構）調適專業能力缺口，並基於調適行動相關工作推動及配合國家中長期氣候政策，課程規劃應採系統性提升運輸管理機關（構）人員調適能力，區分為一般通識知能及各運輸系統專業領域兩大類進行課程設計，說明如下：

① 一般通識知能：為調適能力建構之必要課程，不分運輸系統（公路、軌道、港埠及機場）屬性，所有機關（構）人員不論是否從事氣候行動相關業務，均應盡可能參與，其相關內容可概分為以下面向，包括氣候變遷基礎科學、國家政策與法規、風險評估概論、運輸系統氣候變遷調適通論。

② 各運輸系統專業領域：針對不同運輸體系之業務承辦人員，應可就各運輸系統氣候衝擊及調適專業知能，進行差異化設計，如公路系統應了解建立道路設施安全性、與風險評估方法學或架構，以期能在整體路網規劃時，納入氣候變遷風險衝擊之評估；了解防減災和調適的差異，結合預報資訊的使用，以調整原有預警系統、更新風險地圖，確保通往醫院、避難設施及分發醫療物資之道路暢通；了解如何辨認交通的脆弱群體，以規劃平等的韌性交通等。

(2) 從運輸管理機關（構）問卷及訪談分析可知，氣候變遷調適基礎認知為最起始之課程需求重點，包括「氣候變遷調適」相關法規、指引（如環境部制訂中之風險評估指引），中央氣象署及 NCDR 可提供的氣候/氣象科學資訊等。在調適共同課程部分，包含部分基礎知能及進階之專業知能，因此適合以基礎課程、進階課程兩階段方式予以設計。

(3) 本計畫規劃將課程分為調適基礎課程、調適進階課程及各運輸系統專業課程 3 類，其中調適基礎課程為基礎科學、理念與法規類課程，採講授方式授課，調適進階課程及各運輸系統專業課程屬於執行方法與指引類課程，採講授或工作坊方式實施：



① 調適通識課程 7 門課程：高階人員調適綜合課程、氣候變遷及氣候災害、國家法規與政策、自然解方）概念、氣候變遷風險評估概論、氣候風險決策參考資訊、運輸法規與調適。

② 調適共同課程 15 門課程：氣象資料解讀及取得、氣候變遷風險評估準則及執行程序、融入調適措施時機與要點、面對高度不確定性之決策方法、氣候財務風險揭露、調適指引範例及調適案例分享等。

③ 各運輸系統專業課程 12 門課程：公路、軌道、港埠及機場之衝擊特性、風險評估及調適案例。

(4) 本計畫就前述研析成果，經專家諮詢後提出氣候變遷調適整體課程規劃表，如附表 1-3（以公路系統為例的課程地圖），包括課綱、上課時數及師資，並建議優先安排以下主題的課程：氣候變遷基礎科學、國家政策與法規認識、氣候風險評估概論、相關法規基本

附表 1-3 以公路系統為例的課程地圖

課程名稱	時數	先修課程	高階主管	規劃、設計人員	維運人員	財務人員
A. 調適基礎課程						
A1. 高階人員調適綜合課程	3		✓			
A2. 氣候變遷及氣候災害	3			✓	✓	
A3. 國家法規與政策	3			✓	✓	✓
A4. 自然解方概念	3			✓	✓	
A5. 氣候變遷風險評估概論	3			✓	✓	
A6. 氣候風險決策參考資訊	3			✓		
A7. 調適相關運輸法規調整	2	A3		✓	✓	
B. 調適進階課程						
B1. 氣象資料解讀及取得	3			✓	✓	
B2. 氣候變遷風險評估準則及執行程序	3			✓	✓	
B2-1. 風險評估作業前準備	3	A3、A5、B1、B2		✓		
B2-2. 風險評估範疇界定	3	A3、A5、B1、B2		✓	✓	
B2-3. 脆弱度分析	6	A3、A5、B1、B2			✓	
B2-4. 執行風險評估	3	A3、A5、B1、B2		✓	✓	
B3. 融入調適措施時機與要點	3	B2		✓	✓	
B3-1. 策略階段調適融入項目與時機	3	B2、B3		✓		
B3-2. 規劃、設計階段調適融入項目與時機	3	B2、B3		✓		
B3-3. 維運階段調適融入項目與時機	3	B2、B3			✓	
B4. 面對高度不確定性之決策方法	3	A3、B2、B3		✓		
B5. 公路系統調適指引	3	A3、B2、B3		✓		
B6. 調適案例分享（1）(2)	6	A3、B2、B3、B5		✓	✓	
B7. 氣候財務風險揭露 *非公司組織無需上課	3	A3、B2、B3		✓		✓
C. 各運輸系統專業課程						
C1-1. 公路系統衝擊特性	3	A3、B2、B3、B5		✓	✓	
C1-2. 公路系統脆弱度評估	3	A3、B2、B3、B5		✓	✓	
C1-3. 公路運輸系統調適案例	3	A3、B2、B3、B5		✓	✓	

認識和修訂需求、自然為解方。

5. 辦理氣候變遷教育訓練課程

依調適專業知識之需求性及優先性，據以辦理 112 年度調適基礎課程，成果說明如下：

(1) 辦理兩場次共計 4 門課、12 小時氣候變遷調適教育訓練課程，包括：

① 氣候變遷及氣候災害：課程大綱包括氣候變遷基礎科學及其運輸系統影響。

② 氣候變遷風險評估概論：課程大綱包括調適與防災差異、氣候風險評估概論、風險評估準則。

③ 自然解方(NbS)概念：課程大綱包括 NbS 的定義與基本理念、NbS 的推動策略與效益評估，以及 NbS 評估指標。

④ 國家法規與政策：課程大綱包括氣候變遷因應法及相關法規、國家調適行動推動架構、目的事業主管機關權責。

(2) 學員對課程內容吸收程度，於課程前後進行測驗，結果顯示參訓學員課後對調適認知有明顯提升，對於系統所屬之氣候衝擊，調適行動基本步驟程序，都能有較具體正確之認識。

三、 總結與建議

綜理本計畫執行過程中之觀察及發現，經蒐集國內外調適文獻比較，我國調適工作係為目的事業主管機關，基於易受氣候變遷衝擊權責領域進行推動，與其他國家基於解決特定議題之辦理方式有些不同，因此國外經驗、案例與課程教案設計，在國內引用參採上可能無法全面，且國內專業師資與教材資源並不充足，可能造成未來推動人員調適能力建構提升困難。本計畫針對今年工作辦理經驗，提出後續推動與研究重點建議分項說明如下：

1. 目前我國氣候變遷調適工作，主要由主管機關在各調適領域項下研提相關調適行動計畫據以推動，這可能無法全面涵蓋所有相關議題。建議借

鑑其他國家在解決氣候變遷問題方面的成功經驗，尤其是跨部門合作和多層級治理的作法，來整合資源和推動調適措施。這樣可以制定出更全面的調適策略，提高工作實效性和持續性。

2. 提升運輸管理機關（構）應具備之調適專業能力

(1) 建議優先加強提升高階主管對調適認知，因為高階主管的認知和承諾是推動各項業務的基石，有助於從上而下整合和協調各相關單位。

(2) 運輸管理機關（構）除派員參加國內調適教育訓練課程外，建議也可主動派員出國參訪受訓，以便於學習並吸收國外調適工作的細節和實施經驗。建議可至調適辦理成效良好的國家或地區，進行實地考察和交流，以取得全面且準確的資訊。在派遣人員出國前，宜先在國內接受一些基本的調適課程培訓。

3. 目前國內運輸調適領域缺乏足夠的專業師資和教材資源，這使得調適規劃課程的開設變得困難。為了提升調適能力，應加強對專業師資的培訓，並引進針對氣候變遷調適的教材，包括最新的教學資料和實踐指南。這些教材應根據我國的實際情況進行調整，以整體提升運輸人員調適能力。

4. 預算是各項工作執行的基本資源，建議相關調適工作應納入預算編列。有關調適預算編列原則建議如下：

(1) 將氣候變遷調適納入專案開發的評估流程中，例如可行性研究、選址決策、環境影響評估等，這些通常會增加 1%至 10%的評估成本。

(2) 專案開發的調適經費將排擠其他建設或開發經費，且考慮到氣候變遷情境的高度不確定性，建議應多方案審慎評估，以便投入相關調適預算。

5. 氣候變遷調適課程及實施方式建議如下：

(1) 為強化本計畫調適專業課程之推廣，建議可取得授課教師的同意，將授課影像或教材放置於網站上或其他形式提供，以方便運輸管理機關（構）同仁參考和學習。

(2) 本計畫 2 年期完成整套調適課程規劃後，可提供各運輸管理機關(構)作人員培訓之參考應用；建議各機關（構）針對自身的業務特性，進行符合需求之課程規劃。

(3) 鑒於我國調適工作尚處於起步階段，本計畫所規劃之課程可根據陸續公告之氣候變遷因應法施行細則、準則等相關法規，以及我國調適推動政策實際執行情況，對課程進行必要的調整。

6. 經與各運輸管理機關（構）深度訪談結果顯示，目前交通部提出的運輸系統調適策略措施，各運輸管理機關（構）了解程度不足，對各單位執行業務的影響力有限，建議加強宣導並納入調適課程規劃：

(1) 加強宣導的多元管道，包括文宣、調適指引等方式，以提升各運輸管理機關（構）對氣候變遷調適策略措施的了解度。

(2) 將運輸系統調適策略措施內容及理念納入調適課程規劃，並辦理教育訓練，除課程講授外，亦可搭配工作坊進行實務應用操作，強化參加學員之學習效果。

附錄 2

名詞解釋

附錄 2 名詞解釋

1. **IPCC 第 6 次氣候變遷評估報告（AR6）**：政府間氣候變遷委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change，IPCC）分別在 1990、1995、2001、2007、2013 年及 2021 年發表 6 次正式的「氣候變遷評估報告」。2021 年開始發布的第六次評估報告（The 6th Assessment Report，簡稱 AR6）共四冊，由三個工作小組分工與合作完成。第一工作小組（Working Group I，簡稱 WGI） 主責氣候變遷的物理科學基礎；第二工作小組（Working Group II，簡稱 WGII） 負責氣候變遷的衝擊、風險與調適；第三工作小組 （Working Group III，簡稱 WGIII），負責減緩相關的技術可行性、決策工具、各項減緩措施的治理選擇與社會接受度。三個工作組除了有各自的評估報告，並協力共同完成一本綜整報告（Synthesis Report，簡稱 SYR）。（資料來源：「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台，https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ipcc_ar6.aspx）

2. **政府間氣候變遷委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change，IPCC）**：為聯合國的政府間組織，由世界氣象組織（WMO）、聯合國環境規劃署（United Nations Environment Programme, UNEP）於 1988 年合作成，旨在為政策制定者提供有關氣候變遷的科學基礎、其影響和未來風險以及適應和緩解方案的定期評估。（資料來源：https://www.ipcc.ch/）

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

4. **氣候變遷風險**：指氣候變遷衝擊對自然生態及人類社會系統造成的可能損害程度。氣候變遷風險的組成因子為氣候變遷危害、暴露度及脆弱度。（資料來源：氣候變遷因應法）

5. **公正轉型**：在尊重人權及尊嚴勞動之原則下，向所有因應淨零排放轉型受影響之社群進行諮詢，並協助產業、地區、勞工、消費者及原住民族穩定轉型。（資料來源：氣候變遷因應法）

6. **氣候推估**：利用氣候模式依據未來溫室氣體排放、氣溶膠與土地利用變化之假設情境，進行之氣候系統模擬。氣候推估和氣候預測不同，其主要是依據排放及未來社會經濟發展的假設情境。（資料來源：環境部氣候變遷專有名詞手冊，112 年 3 月）

7. **社區為本調適**：在地或社區驅動的調適。社區為本調適強調社區調適能力的提升，包含善用當地的知識、文化及在地優勢。（資料來源：環境部氣候變遷專有名詞手冊，112 年 3 月）

8. **減緩**：減少溫室氣體排放或提升碳匯之人為干涉行為，如「減緩措施」指氣候政策中，促進減量的技術、過程或做法（如再生能源技術、廢棄物最小化過程與實施公共運輸通勤）。（資料來源：環境部氣候變遷專有名詞手冊，112 年 3 月）

9. **自然為本解決方案（Nature-based Solutions, NbS）**：指保護、永續管理和恢復自然或改良生態系統的行動，期有效與妥適的因應社會挑戰，並兼顧促進人類福祉和生物多樣性之效益。該方案以解決重大社會挑戰為目標，包含糧食安全、氣候變遷、水資源安全、人類健康、災害風險、社會和經濟發展、環境惡化與生物多樣性流失等。（資料來源：環境部氣候變遷專有名詞手冊，112 年 3 月）

10. **韌性**：相互連動的社會、經濟與自然系統在面對外界危害、趨勢或擾動時，透過回應或重組的方式維持系統基本運作的因應能力。在系統持續保有調適、學習或轉型能力前提下，才可創造出韌性的正面效益。（資料來源：環境部氣候變遷專有名詞手冊，112 年 3 月）

11. **風險評估**：對風險進行定量或定性的科學估計。（資料來源：環境部氣候變遷專有名詞手冊，112 年 3 月）

12. **脆弱群體**：由於收入、教育、醫療保健和住房等社會和經濟等因素，某些群體比其他群體更容易受到氣候變遷的影響。對交通運輸系統的脆弱群體可用「交通貧窮指標」以交通負擔能力、服務或基礎設施缺乏造成的流動性貧困、無障礙貧困、交通外部性暴露等項目去衡量。（資料來源：Alonso-Epelde et al，Transport poverty indicators: A new framework based on the household budget survey，2023）

13. **氣候相關財務揭露（Task Force on Climate-related Financial Disclosures, TCFD）**：由負責對全球金融體系進行監管並提出建議的金融穩定委員會（Financial Stability Board, FSB）所創建，旨在就公司應披露的資訊類型提出建議，以支持投資者、貸方和保險承銷商對一組特定風險（與氣候變遷相關的風險）進行適當評估和定價，揭露建議圍繞四個主題領域構建，這些主題領域代表公司營運的核心要素：治理、策略、風險管理以及指標和目標。（資料來源：https://www.fsb-tcfd.org/about/）

14. **永續發展目標（Sustainable Development Goals, SDGs）**：聯合國於 2015 年通過「2030 年永續發展議程」，為人類和地球現在和未來的和平與繁榮提供共同藍圖。SDGs 有 17 項目標，其中第 13 個目標為「採取緊急行動應對氣候變遷及其影響」。（資料來源：https://sdgs.un.org/goals）

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：MOTC-IOT-112-TFB004

計畫名稱：建構運輸管理機關（構）之調適專業能力（1/2）－課題研析及課程規劃

執行單位：景丰科技股份有限公司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 馮正民榮譽退休教授		
1. 報告書第2-5頁列舉了日本、美國及英國調適措施，建議可與我國運輸系統調適四大策略15項措施進行對應分析，並提出值得我國參採之處，以檢討修正我國調適措施。	感謝委員意見，期末報告依委員意見，於 2.2 節文獻回顧列舉之各國調適措施，隨後與我國運輸系統調適四大策略 15 項措施進行比對，並於 3.6 節提出可參採項目來檢討修正我國調適措施。	同意。
2. 報告書第3-7頁建議增加調適措施重點部分，其中建議運研所增加「製作自然為本是否適用於運輸系統之評估指導手冊及自然為本實務應用案例蒐集」及「規劃調適相關專業課程，辦理教育訓練」，請說明這些僅是研究初步規劃或交通部請運研所辦理事項，建議請再審慎評估相關新增措施重點。	感謝委員建議，經檢討對於「自然為解方」議題，將修正為在「策略一 提升衝擊耐受力」措施 1-3「檢討並將氣候調適概念納入規範或作業程序」新增「了解自然為本理念」（見表 3.5-1）並補充於措施 1-3 說明。 在措施 4-5「培育氣候變遷風險管理與調適專業人才」方面，建議應由包括交通部及其所屬設施管理機關（構）皆需規劃調適相關專業課程，並辦理教育訓練。詳見第 3-67 頁及表 3.5-1。	同意。
3. 報告書第3-4頁、第 3-5頁，調適策略範疇新增脆弱群體、原住民族，是否係參考國外文獻，請補充說明。 另專有名詞宜有明確定義，如	1. 由於脆弱度和暴露程度的差異，氣候變遷對人類和自然系統造成不成比例的風險，因此調適須特別著重於保護易受危害的脆弱群體，在我國氣候	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
脆弱群體之定義係指高齡者、脆弱地區居民或山區道路用路人？請補充說明。	變遷因應法第三章氣候變遷調適專章及 IPCC 氣候變遷第六次評估報告「衝擊、調適與脆弱度」均提及對脆弱群體、原住民族的調適能力建構，因此建議增補於運輸系統調適策略措施。 2. 綜整國際調適文獻回顧，氣候變遷災害下針對交通設施方面的弱勢族群，特徵是該地人口依賴交通、缺乏交通便利性以及特定的地理或物理形態。居住在鄉村、山區或離島等缺乏高效公共交通的地區的居民，這些地區公共交通不頻繁、不方便甚至不存在，使居民變得脆弱，特別容易受到氣候變遷事件的影響，因缺乏必要資源和交通系統使居民無法獲得遠處資源或逃避災害及其後果，可能導致人們難以進行撤離，增加了災難期間的風險，並在會在應急或撤離時、以及災後恢復的過程中面臨額外的困難，成為交通運輸的脆弱社群。詳見第 2-27～2-28 頁。	
4. 第四章所蒐集運輸系統調適案例，建議針對15項措施分別選取適當案例，在期末報告補充較詳細之說明。	感謝委員意見，原第四章 4.3 節蒐集之運輸系統調適案例，依照 15 項措施分別選取適用於我國運輸系統之調適研究案例在期末報告第三章運輸系統調適策略檢討前補充說明。詳見 3.5 節。	同意。
國立臺北大學都市計劃研究所 葉佳宗教授		
1. 2.1.2 節國際發展趨勢，對於 NbS 國內各民間機構都十分	鑒於聯合國雖已通過決議支持 NbS，但 NbS 實施方法尚未完全	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
關心，希望部會機關能夠積極推動。但是此概念對於不同部門的實踐還有許多未成熟之處。因此，不建議直接將案例做為教材，而需透過交通部(運研所)做規劃設計與實例驗證，再逐步推廣。建議教育訓練的方向為理解 NbS 的概念，而非直接提供少數案例做為推動範本。	明朗，因此已刪除「製作自然為本是否適用於運輸系統之評估指導手冊及自然為本實務應用案例蒐集」，並將 NbS 相關事項分別於措施 1-3「檢討並將氣候調適概念納入規範或作業程序」中新增措施重點「了解自然為本理念」並補充於措施 1-2「迴避高風險潛勢地區持續受損點位改、廢線」中新增措施重點「與環境部會考量周邊環境關係，視情況運用以自然為本方案」詳見第 3-25 頁、第 3-30 頁及表 3.5-1。並以規劃教育訓練課程協助了解自然解方概念（第 5-38 頁）。	
2. 第七章規劃氣候變遷調適專業知識課程，相關課程所需的資料蒐集非常豐富值得肯定。另有必要針對學員需求、課程範圍，調適能力建構等重點，依照上課時數、頻率做進一步的規劃。	感謝委員建議，在期末報告第五章 5.5 節，依學員需求、課程範圍，調適能力建構等重點，納入將包含課綱、上課時數、推薦授課教師的整體課程規劃，如表 5.5-2 所示。	同意。
3. 運輸管理機關(構)調適專業能力之課程規劃，建議除考量總體性授課內容外，應強化課程重點，例如講授氣候變遷因應法，課程應著重在該法第三章調適專章;講授IPCC 氣候變遷第6次評估報告，重點應在其調適專章。透過妥適規劃設計，俾使課程具總體性，並明確呈現授課重點。	感謝委員建議，課程規劃核心內容將以氣候變遷調適為主軸，在氣候變遷因應法部分，除簡介法規整體架構外，即以氣候變遷調適專章相關法規與執行要點為主，IPCC 氣候變遷第 6 次評估報告（AR6）也將聚焦於 WG II 所提出的「衝擊、調適與脆弱度」。並已列入課綱。（第 5-18 頁）	同意。
4. 第二章文獻回顧，現在國際主要趨勢認為，不一定要以一項全新計畫來推動調適，可在既有政策、法規、相關方案措施、	感謝委員建議，運輸系統規劃、施工及營運為高度專業的領域，且已建立一個完整的執行體系，參考美國聯邦公路管理局「運輸	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
或執行中的計畫，檢討新增調適項目；若無法以上述方式處理，再評估研提新的計畫、政策或法規。	系統管理、營運和維護氣候變遷調適指南」，將氣候變遷納入決策的具體行動的架構如下： 1. 定義調適工作的目標和範圍。 2. 評估脆弱性，為制定調適策略提供資訊。 3. 將氣候變遷納入決策。 4. 監控、重新檢視和設定新目標。 在此架構下，重點為檢討提出極端天氣期間預期的績效水準以及可容忍的中斷程度、確定關鍵氣候因子的變量及運輸系統的氣候敏感度與脆弱性，將上述氣候變遷調適考量納入原系統決策，而是否須研提新的計畫、政策或法規可由各單位依實際情況評估。	
5. 國際上許多網站的調適工具箱可供參考，可以做為資源，鼓勵學員自主學習。	感謝委員意見，本計畫蒐集許多運輸系統調適案例（3.3 節），整理成資料庫，其中包括國外調適工具，並於 3.4 節選取適用於我國運輸系統之調適案例，提供部會參考及作為學習資源，有助於未來運輸系統之調適規劃及自主學習。	同意。
交通部航政司 韓振華副司長		
1. 5.3 節針對公路系統可能氣候災害有較詳細之分析，對機場設施系統亦透過表5.3-1詳列可能面臨之氣候災害，惟對港埠設施可能氣候災害之說明較為簡略，建議可考量參照其他運輸系統補充有關內容。	遵照辦理。已於期末報告 4.3 節整理港埠設施對氣候變遷造成的極端風暴、暴雨和洪水、極端高溫、持續乾旱、海平面上升等災害的衝擊進行說明。	同意。
2. 問卷調查顯示填寫人員並不熟悉氣候變遷調適，問卷調查結	感謝委員建議。本計畫於期末報告第五章詳述，透過問卷調查分	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
果與教育課程設計之關聯性不明確，後續訪談部分建請考量訪談內容及教育課程設計之相關性。	析結果(5.1 節)擬定深度訪談訪綱(5.2 節)，為瞭解各機關調適課程需求與調適知能缺口，後續並訪談專家(5.3 節)針對訓練對象和知能背景課程需求綜合評估(5.4 節)、最後，綜合分析結果於第 5.5 節規劃課程。	
3. 6.1.3節，預試問卷回饋中，試填者反映「氣候變遷調適」是少見的詞，對於問卷主題覺得陌生。為避免填寫問卷者有所誤解，建議可於問卷中增列相關專有名詞之定義或說明。	感謝委員建議，因應試填者反饋，後續已降低知識題難度，改為將「氣候變遷調適」名詞定義納為是非題考題，亦於適當處增列示例說明。（正式問卷試題詳見附錄 4）	同意。
4. 6.2節與8.3節規劃就所有交通運輸設施相關部屬設施機關（構）進行至少1次之深度訪談。考量氣象局與氣候變遷課題息息相關，建議訪談對象可考量增加氣象署。	感謝委員建議，已訪談氣象署以了解氣象署在氣候變遷調適行動中的角色，及所能提供的氣候服務和合作機會。並邀請將來成為教育訓練課程講師。	同意。
5. 8.3節，問卷調查係以不分層不分類施放問卷，且不限是否處理氣候變遷相關業務，以追求觸及率及回收率，建議後續應注意問卷填寫者之背景是否含括各運輸系統，且各運輸系統之填寫數量是否足具代表性。	感謝委員建議，問卷發放公文載明各運輸單位分配名額，各運輸系統實際回收份數與預訂份數相符。	同意。
6. 因問卷未依不同運輸系統區分問題，似較不易從問卷中了解及分析各運輸系統之能力缺口與課程需求；另問卷二、6 題所問下列研究主題何者最符合當前的氣候變遷調適關注重點中，包含公路、鐵路、港口、航空等不同主題之選項，恐會因填寫問卷者之背景與專業，而產生不同之選擇結果。	感謝委員提醒，本計畫有關各運輸系統之能力缺口與課程需求探知以透過後續的深度訪談進行瞭解與評估；另有關「調適關注重點」問題，有過半的填答者瞭解當前關注重點為「脆弱度及風險評估」，其他答案依序為「碳排管制」（17%）、「不知道」（13.5%）、「預警與防災」（13%），經由分析顯示此比例	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
	未與填答者背景相關，表示應未受到選項中提及運輸系統的影響。	
7. 以下文字似有誤植，建議釐清後修正： (1) 報告書第2-20頁倒數第三行「是否題」，建議修正為「是非題」。 (2) 報告書第5-14頁表5.2-2之危害因子標題「公路、鐵路、公路」，建議修正為「公路、鐵路、港口、機場」。 (3) 報告書第5-24頁第4 點「機場設施氣候變遷調適」，建議比照其他點標題修正為「機場設施可能氣候災害」。	感謝委員指正，已於期末報告修正。	同意。
國立臺灣師範大學環境教育研究所 葉欣誠教授		
1. 1.5節名詞解釋，建議就每個名詞解釋加上文獻引用資訊，以指引資料來源。	感謝委員建議，遵照辦理。詳見附錄2。	同意。
2. 表2.1.1～表2.1.4應註明為日本的運輸系統。	感謝委員指正，期末報告重新蒐集不同資料彙整，已刪除期中報告此4個表格。	同意。
3. 2.2 節，第2-15頁「3.不作為風險的認知」難以理解，請重新翻譯為比較容易理解的說法；第2-17頁關於運輸部門共通性問題，建議加入部門是否編列氣候變遷調適相關預算。這是我國各政府部門普遍存在的問題。	感謝委員建議，期末報告將修正如下： 1. 「3.不作為風險的認知」已修正為「3.不積極因應氣候變遷將導致更大風險」的認知。（第2-31 頁） 2. 運輸部門調適共通性問題加入第6點，「部門是否編列直接或間接氣候變遷調適相關預算」。（見第2-38 頁）	同意。
4. 5.2節，「4. 瞭解以自然為解方NbS 的工程概念」，建議改為	感謝委員指正，期末報告修正為在「策略一 提升衝擊耐受力」措	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
「4. 瞭解以自然為解方 NbS 的工程與非工程概念」。因NbS不僅應用於工程。	施 1-3「檢討並將氣候調適概念納入規範或作業程序」新增「了解自然為本理念」(見表 3.5-1)，刪除「工程」二字。	
5. 6.1節，關於問卷設計，並沒有說明清楚後續將在何時針對哪些成員進行多少份數的問卷，後續分析得到的結果的呈現方式為何等資訊。另附錄2預試問卷，發現好幾個題目使用「以下...何者正確或錯誤」的方式設計題目，使得答題者要讀完4個完整的答案論述後，才能作答。一般素養檢測會避免使用這樣的問題設計模式，以避免答題者負擔過大。	感謝委員建議，本問卷目標對象為交通部所轄各運輸設施權管機關（構）一般從業人員（不限是否接觸過「氣候變遷調適」相關業務），於 8 月已完成 200 份問卷回收（依各運輸系統人數分配填答比例），分析結果詳見 5.1 節。另有關題目設計建議，執行團隊已因應試填者反饋，調整知識題題型並降低難度，避免答題者負擔過大。（正式問卷題見詳見附錄 4）	同意。
交通部航政司		
1. 5.3節建議比照機場設施的列表，也蒐集港埠設施、服務、維修或經營等方面可能面臨氣候災害的相關資料補充說明，俾利管理單位後續納入風險辨識的參考。	感謝委員建議。已於期末報告 4.3 節整理港埠設施對氣候變遷造成的極端風暴、暴雨和洪水、極端高溫、持續乾旱、海平面上升等災害的衝擊進行說明。	同意。
2. 針對課程規劃部分，建議實務工作坊課程也能邀請交通部不同領域具有實務工作的單位分享具代表性案例，並進行分組實務演練，可提高後續各單位實作能力。建議教育訓練課程錄影並放置於網路，讓更多同仁受益。	感謝委員建議，實務工作坊課程規劃將參採建議邀請具有實務工作經驗的單位分享其執行成果，並評估對提高實作能力較有效果的課程型態，訓練課程也將錄影提供建檔及資訊分享。	同意。
交通部公路局		
1. 同意研究團隊報告書第2-17頁提及風險辨識及風險評估是與氣候變遷科學關聯度較高，一般運輸系統專業領域較少涉	感謝委員認同，依照國科會氣候科研團隊建議之氣候變遷調適框架，風險辨識及風險評估是兩階段工作中必須優先完成的第	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
及之論述。教育訓練教材可強調調適與防災的差異。	一階段基礎工作，根據氣候變遷因應法第 18 條第 3 項，環境部已經著手擬定風險評估作業準則，供各相關部門所引用之氣候情境、科學數據與方法能具有一致性，本計畫將依據環境部最新資料規劃課程。（5.5 節） 防災以歷史災害為基礎，而調適的未來氣候變遷情境將超出歷史情境，因此本次教育訓練課程亦有特別強調兩者之差異性。（5.6 節）	
2. 教育訓練可規劃實體與線上併行，讓更多學員可透過視訊受訓。	感謝委員建議，經評估實體課程成效優於線上，將以實體課程為主，但亦提供線上課程作為輔助學習。	同意。
3. 公部門氣候變遷調適案係委外辦理，教育訓練內容除介紹調適與防災的差異、風險辨識(評估)外，建議教育訓練介紹委外計畫案之審查重點或錯誤態樣。	感謝委員建議，調適工作項目為新增之議題因此國內實際案例極有限，將參考國外案例或國內類似性質的工作項目，在課程大綱將納入委外計畫案之審查重點或錯誤態樣。	同意。
交通部高速公路局		
針對告書第1-6頁計畫範圍與對象內容中，「7. 提供運輸設施權管機關（構）人員諮詢服務」此項僅執行至112年底計畫結束，建議可透過教育訓練時，建立各單位與氣象局諮詢窗口媒合平台，使諮詢服務可在計畫結束後，仍持續提供各單位詢問。	感謝委員建議，氣候變遷調適策略措施，已新增「整合跨領域及跨層級工作」，本計畫將在訪談氣象署以了解氣象署在氣候變遷調適行動中的角色中，了解了氣象署提供的氣候服務和合作機會。氣象署現已提供「氣象資源試用方案」，不僅僅提供資料本身，還關注與資料相關的技術、工具和研究。這種方法是開放的，可以促進跨域合作，共同研發以滿足不同單位的需求。將來計劃將資源試用方案納入「氣	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
	候服務聯盟」，以促使更多和更有效率的合作以及資料共用。	
交通部鐵道局		
1. 過去本局以視訊方式辦理環境教育經驗，效果有限且結果是失敗的。建議課程部分可針對種子教育訓練，落實實體到訓，並透過訂立罰則或增加考試強化教育訓練效果。	感謝委員建議，經評估實體課程成效優於線上，將以實體課程為主，並提醒各單位遴選適當種子人員受訓，且在每節課程均設計課前及課後測驗，以確認學習成果。本年度教育訓練，經由評量結果分析，各課程主題課後答出正確答案的比例皆有提高，顯示參加課程的學員對調適認知有明顯提升。	同意。
2. 北歐國家對於氣候調適的執行或NbS有比較多的實務經驗，建議增加這方面資料蒐集。	感謝委員建議，歐盟 Climate-ADAPT 已將歐盟各國調適相關文獻彙整在資料庫中，其中已涵蓋北歐國家，本計畫蒐集包括國家級或跨國計畫，以及研究部門案例，荷蘭 25 例、丹麥 25 例、挪威 19 例、瑞典 27 例、芬蘭 22 例、冰島 1 例。然而在參考先進國家的調適案例之外，IUCN 在 NbS 的準則中亦提出必須綜合分析上游、中游與下游的生態、社會、經濟和政策背景，而提出因地制宜的解決方案更為重要。	同意。
3. 建議深度訪談對象納入各機關（構）之高階長官。	感謝委員建議，遵照辦理，已請承辦人員協助詢問長官意願，並有部分機關高階長官在不具名前提下受訪。	同意。
交通部民用航空局		
1. 建議計畫團隊增加蒐集ICAO（國際民用航空組織）及ACI（國際機場協會）的相關資訊和建議，做為航空部分的調適、風險評估及後續的改善作業的	感謝委員建議，本計畫已蒐集 ICAO 氣候變遷調適相關報告，於在期末報告中 2.3 節彙整其航空調適作法。 然而 ACI 為會員制組織，該組織	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
資料來源。	報告僅提供會員使用。	
2. 表5.2-2 顯示極端溫度及極端降雨將導致機場「跑道牽引力下降」，有關牽引力一詞是否指摩擦力，建請釐清。另本局尚查無高溫導致跑道摩擦力（或牽引力）下降之相關文獻資料，建請補充說明並釐清。	牽引力（traction）是摩擦力的一種形式（the hysteretic component of friction）。在航空和機場運營文獻的上下文中談到飛機在跑道上的牽引力時，是指飛機起步或加（減）速時，輪胎和地面維持平穩的力。兩者皆有文章使用。 原表 5.2-2（期末報告調整為表 2.1-3）為本計畫整理來源於 Climate Change Impacts and Adaptation for International Transport Networks 的資料，其中提及之機場跑道牽引力下降的範例是由於凍雨造成，而非高溫，已於表中加註說明。	同意。
3. 表5.2-2，「衝擊」一欄項下細分為「公路、鐵路、公路」有誤植，請修正為「公路、鐵路、港口、機場」。	感謝委員指正，期末報告調整為表 2.1-3（原表 5.2-2）已修正為「公路、鐵路、港埠、機場」。	同意。
本所運輸能源及環境組		
1. 2.1 節為「國際運輸系統調適策略發展」，目的是為了滾動檢討運輸系統調適策略，文獻蒐集請儘量以國際最新發展趨勢為主，不宜直接在2.1.1 小節引用前期研究蒐集之文獻資料；另在2.1.1 小節引用本所過去研究之運輸系統調適四大策略15項措施，與2.1 節標題不符，建議可移置第三章呈現。	遵照辦理。期末報告已排除直接引用前期研究蒐集之文獻資料部分。 於 2.2 節「國際氣候變遷調適發展趨勢」，為進行提出值得參採之處對應分析，先於本節第一段概略說明前期研究之運輸系統調適四大策略 15 項措施，做為本研究第一次引用。再於第三章詳細分析檢討，後進行調適策略措施之調整、補充。	同意。
2. 2.2 節運輸設施權管機關（構）應具備之調適專業能力，國內相關文獻（報告書第2-17頁）在	本計畫期末報告將所有後續調適策略措施之調整及調適相關專業課程規劃之文獻主要內容	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
5.1 節重複提列，建議相關文獻僅於5.1 節提列即可。另教育部在高中職及大學調適課程規劃與本節之關聯性不高，應是提供未來課程規劃，相關文獻回顧資料，請再審酌。	皆移至第二章「文獻回顧」，後續章節討論則引用第二章內容，不另列。	
3. 表3.2-2 措施1-3 項下之本計畫措施重點，建議本所新增「製作自然為本是否適用於運輸系統之評估指導手冊及自然為本實務應用案例蒐集」一節，考量以自然為本之解決方案是調適選項之一，可融入既有作業準則或指引中，且後續本計畫亦會納入課程規劃，爰毋須另製作自然為本之指導手冊，本項建議刪除。	鑒於聯合國雖已通過決議支持NbS，但 NbS 實施方法尚未完全明朗，因此已刪除「製作自然為本是否適用於運輸系統之評估指導手冊及自然為本實務應用案例蒐集」，調整為將 NbS 相關事項列於措施 1-3「檢討並將氣候調適概念納入規範或作業程序」中新增措施重點「了解自然為本理念」，並於措施 1-2「迴避高風險潛勢地區持續受損點位改、廢線」中新增措施重點「與環境部會考量周邊環境關係，視情況運用以自然為本方案」。詳見第 3-25 頁、第 3-30 頁及表 3.5-1。	同意。
4. 表3.2-2 措施1-5 項下之本計畫措施重點，建議新增「建立與運輸系統相互依賴或運輸系統運作依賴之其他非運輸單位（如能源機關、數位機關）之連結性」一節，文意不清，請補充說明相關新增目的及作法。	感謝業務單位意見。經檢討對於「整合跨領域及跨層級工作」議題，將在「四、增進決策支援力」的措施 4-4，新增措施重點「評估運輸系統正常運作時所需其他非運輸單位（如能源機關、數位機關）資源。」及「盤點維持系統正常營運所需其他非運輸單位（如能源機關、數位機關）資源」。相關內容補充詳表 3.5-1。	同意。
5. 表3.2-2（報告書第3-11 頁），「揭露氣候變遷相關財務資訊」請再評估是否適宜放在措施4-3 建置或應用風險管理與	感謝業務單位意見。經檢討對於「綠色金融機制」議題，將在「策略四 增進決策支援力」的措施 4-1「建立調適計畫投資決策評估	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
調適所需資料庫及工具項下，或者放置於其他適宜措施項下，另請補充說明相關作法。	方法」，新增「將氣候風險與機會納入營運策略、強化資金調度及取得、揭露氣候變遷相關財務資訊」等 3 個措施重點（表 3.5-1），並補充說明新增目的及作法（詳見第 3-71～3-72 頁）。	
6. 4.3節，請就運輸系統調適四大策略15項措施，納入對應具體實務應用案例分析，而非僅就策略進行分析；相關內容請依期中報告簡報內容更新。	原第四章 4.3 節蒐集之運輸系統調適案例，依照 15 項措施分別選取適用於我國運輸系統之調適研究案例，在期末報告第三章運輸系統調適策略檢討前補充說明。詳見 3.5 節。	同意。
7. 報告第5-16頁，提及交通部鐵道局組織法第二條修正草案將納入與氣候變遷調適等工程之規劃、設計、施作及監督一節，經查該局組織法應已公布施行，後續訪談時請確認，並了解該局相關辦理情形。	已確認，交通部組織法及交通部鐵道局組織法為符實際業務需求，分別修正第二條第八款及第一項第二款之掌理事項，納入與氣候變遷調適等工程之規劃、設計、施作及監督，即國內運輸相關法規展開修正的範例，修正案皆已於 112 年 6 月 7 日通過實施。修正於期末報告第 4-10 頁。	同意。
8. 5.3節氣候變遷調適運輸系統領域知能，應從文獻蒐集、專家座談、機關訪談，進而了解運輸權管機關（構）應具備之調適知能，並非僅以透過災害類型探討調適知能。	遵照辦理，本計劃期末報告將從文獻蒐集（第二章）先大方向列出初步就運輸系統領域在氣候變遷下可能面臨災害（就公路、鐵路、空運及海運四大系統分別探論不同氣候災害形式）進行議題式調適能力需求之建構。第五章詳述，透過問卷調查分析結果（5.1 節)擬定深度訪談訪綱(5.2 節），為瞭解各機關調適課程需求與現階段調適知能缺口，後續並訪談專家(5.3 節)針對訓練對象和知能背景課程需求綜合評估（5.4 節），最後，於 5.5 節進行課程規劃。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
9. 目前報告多以本所過去研究之訪談結果進行課程規劃，建議後續應以本計畫問卷調查及深度訪談之成果進行後續課程規劃，並納入期末報告。	感謝委員建議，執行團隊於期末報告除了過去研究之外（第二章文獻回顧），並於第五章詳述透過問卷調查分析結果(5.1 節)擬定深度訪談訪綱(5.2 節)，以瞭解各機關調適課程需求與現階段調適知能缺口，後續並訪談專家(5.3 節)針對訓練對象和知能背景課程需求綜合評估（5.4 節）、最後根據以上結果分析，於 5.5 節針對訓練對象、知能背景、課程長度及頻率，規劃不同課程組合。	同意。
10. 簡報第53-54 頁，問卷調查可進一步分析主管及非主管、不同運輸權管機關(構)對課程需求及優先性。	感謝委員建議。經進一步分析，主管及非主管、不同運輸權管機關（構）對課程需求及優先性的結果，與整體統計結果大致相同，即前 3 名課程主題為「氣候變遷衝擊與情境資訊」、「氣候變遷風險評估方法」、「調適新知與案例」(僅排序不盡相同)，例外是「港務系統」、「交通部及運輸研究所」將「調適對策研擬實務」課程主題納入前 3 名(分別取代「氣候變遷風險評估方法」與「氣候變遷衝擊與情境資訊」)。內容詳見期末報告 5.1 節。	同意。
主席結論		
1. 第二章文獻回顧在國外調適措施案例蒐集部分，請增加一小節與本國調適措施進行比較，提出可供我國參採之處，並檢視我國運輸系統調適四大策略 15 項措施是否皆已含括。	遵照辦理。內容詳見報告表 3.2-1。	同意。
2. 第三章調適策略調整或增加相關措施之執行重點，新增內容	遵照辦理。內容詳見報告 3.4 節。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
之妥適性、用詞及歸類，請再通盤檢視；另請依據本所111年出版之「公路系統規劃階段強化調適能力之探討(1/2)」第三章撰寫方式，補充說明執行重點之詳細內容。		
3. 第四章案例蒐集部分，請針對四大策略15項措施，廣泛蒐集國內外可實際應用或實務操作之案例，除了進行資料建檔外，也請依本所111 年出版之「公路系統規劃階段強化調適能力之探討（1/2）」第三章撰寫方式，就各措施之應用案例進行說明。	遵照辦理。內容詳見報告 3.4 節。	同意。
4. 請參照委員及與會單位針對課程規劃的建議，歸納問卷和訪談結果及專家建議，進行系統性的規劃，包括規劃基礎及進階課程的內容、授課對象、時數、頻率，以及各課程教材的重點內容等。	遵照辦理。已規劃基礎及進階課程的內容、授課對象、時數、頻率，以及各課程教材的重點內容等，內容詳見報告 5.5 節。	同意。
5. 本計畫經徵詢審查委員意見，期中報告審查原則通過，請研究團隊依據委員及單位代表意見列表回應，後續請研究團隊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：MOTC-IOT-112-TFB004

計畫名稱：建構運輸管理機關（構）之調適專業能力（1/2）－課題研析及課程規劃

執行單位：景丰科技股份有限公司

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
國立臺北大學都市計劃研究所葉佳宗教授		
1. 期末報告整體內容豐富、完整，符合委託工項要求；並能掌握國際趨勢，持續補充更新國際最新資訊及規範。	感謝委員肯定。	同意。
2. 第3.5節運輸系統調適措施具體應用案例，蒐集許多國內外調適案例，但相關案例所要傳達的訊息與對應目標，還是有些落差，如臺鐵截彎取直或邊坡監測調適案例，建議應具體說明其氣候變遷調適內涵及與調適策略措施之關係。 第3-14頁~第3-16頁國內第一期、第二期調適行動方案之運輸調適行動計畫是否可做為具體案例？請再考量。	謝謝委員建議，已在成果報告書中補充說明案例的氣候變遷的思考，包含欠缺部分和建議。例如於措施 1-2「由於國內案例主要是以過去歷史天氣事件進行設施迴避高風險潛勢地區考量，如台9線蘇花改計畫及臺鐵截彎取直計畫，尚未以未來氣候情境進行評估，建議未來國內相關計畫可強此部分。」並加入國外案例加強說明，詳見3.4節。 考量原第一期、第二期行動方案，因其中策略與措施與氣候變遷調適間連接性較為模糊，多以過去天氣災害統計經驗做為災害風險評估的依據，而非以氣候變遷調適的情境做為基礎。僅保留第三期(112-115年)國家行動計畫有針對議題進行風險評估工作的計畫。	同意。
3. 第二章文獻回顧第2-30頁，表2.2-2表達交通貧困概念性定義，請於內文補充說明交通貧	已於文中補充交通貧窮概念，交通貧窮指標的框架包括了衡量交通負擔能力和可及性的指標，	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
窮(困)與氣候變遷及調適之關聯性。	有助於協助政府快速辨識在氣候變遷衝擊下特別需要特別關注的弱勢社群，並以「交通沙漠」的概念評估該地區的交通系統韌性，以降低脆弱群體交通貧困，詳見第 2-26 頁。	
4. 第2.4節小節之第2-43頁，何謂「人為調適已達到軟性條件的限制」、「不當調適的情形發生」？請詳加說明。	2.4 節之軟性條件的限制及不當調適內容之說明內容列於 2.2 節。其中 1. 調適「軟限制」主要來自財務、制度、政策等的限制，但有機會解決，例如不平等和貧困限制了弱勢群體的調適能力，增加氣候融資可降低限制，詳見第 2-14 頁。 2. AR6 報告中將「不當調適」定義為可能導致氣候相關的不利結果之風險增加的行動，包括增加溫室氣體排放、增加或轉移對氣候變遷的脆弱度、加劇氣候衝擊的不公平或減少社會福祉。不當的氣候變遷因應作為可能導致脆弱度、暴露度及風險的困境，如需修正將有困難且代價高昂，同時加劇現有的不平等。例如：海堤在短期內可以有效減少人員與資產損失，但大量採用人工設施建設，將對生態產生衝擊，導致長期鎖定效應，並增加氣候暴露風險。不當調適可透過彈性、跨領域、包容式、長期的調適行動規劃與執行予以避免，並為許多領域及系統帶來效益。詳見第 2-13 頁。	同意。
5. 第3.5節運輸系統調適措施具體	感謝委員建議。文中增加說明如	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
應用案例第3-20頁，表3.5-2氣候變遷風險及相對應自然解決方案內容未翻譯略為可惜，相關應用、自然基礎、結構與混合使用於公路系統，建議有進一步解釋。	下：減緩沿海災害之調適方法，包含基於自然的解方、結構性強化方法及混合解決方案。不同的調適方法主要取決兩個關鍵因素，分別為(1)適合該地區基於自然解方的類型（例如：海灘或是濕地？);(2)透過項目實施減輕的基礎設施脆弱性或風險。 為幫助管理單位了解不同類型沿海地區適用的解決方案，以表格形式列出常見的沿海災害、相關的交通設施類型以及可能的管理策略的代表性示例（自然為本解決方案、結構性強化方法和混合解決方案)，詳見第 3-32 頁。	
6. 第3.6節檢討後之調適策略措施第3-37頁~第3-78頁，實務案例的選擇與說明建議強調氣候變遷及調適的關係，並選擇具有示範性的案例。	感謝委員建議。成果報告書將原期末報告之 3.5 節運輸系統調適措施具體實務應用案例與原 3.6 節檢討後之調適策略措施合併，以方便藉由示範性的案例說明與調適措施的關聯。	同意。
7. 第4.3節領域知能第4-23頁以公路、軌道、港埠、機場做分類，與事業分工及空間範疇有關，但是缺乏系統整合的調適與互動關係。未來建議再加上系統性整合，俾利更完善規劃調適課程。	感謝委員建議，已在 4.3 節補充交通部對跨運輸系統的調適整合執行情形，包括調適策略一提升衝擊耐受力，措施 1-5 強化跨運輸系統的運輸連結性，及策略二強化預警應變力，措施 2-1 建構跨運輸系統預警應變網絡，此外也補充跨系統整合執行案例，說明「公路系統規劃階段強化調適能力之探討(2/2)強化調適能力作為與指引」附冊「公路系統規劃階段調適指引」，指引 3.5 節即為「公路跨其他運輸系統調適介面整合機制」，詳見報告第 4-29～4-30 頁。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
國立臺灣師範大學環境教育研究所　葉欣誠教授		
1. 整體報告的內容符合合同工作項目，資料蒐集豐富，顯示團隊工作努力，達成計畫目標。	感謝委員肯定。	
2. 第 2.4 節第 2-44 頁，「氣候變遷調適非優先事項」雖為一般認知，但建議能夠說明具體的證據，以及我國和外國之差異。	感謝委員建議，由於訪談時觀察到普遍對氣候變遷調適了解程度不足，未達到將調適工作「主流化」納入工作流程，因此以「氣候變遷調適非優先事項」說明此問題，實際國內外文獻並未查到具體資料。	同意。
3. 文獻回顧中紐澤西州的氣候變遷課程顯示聯合國對於調適和人員訓練的重要概念是將永續性的概念納入課程考量。然而課程設計忽略永續性是涉及經濟、環境和社會等多方面考量的上位概念，教育訓練應該對氣候變遷的調適和永續性概念有一個整體的理解，建議將此觀點納入課程規劃中，予以重視。	感謝委員建議，已將「永續性融入基礎設施設計和決策」納入高階主管綜合課程，詳見報告第 5-21 頁、第 5-25 頁。	同意。
4. 第 3-83 頁，表 3.7-1 調適策略與措施綜整表之措施 1-3 重點說明雖已新增「了解自然為本理念」，建議再補充如「了解自然解方之準則、應用及限制」之概念。	謝謝委員建議。已將建議的概念放入表 3.5-1。	同意。
5. 附錄 1 附 1-7 頁，本計畫規劃將課程分為「調適通識課程」與「調適共同課程」。建議名稱考慮略為調整，俾明確區隔。	感謝委員建議，已將課程調整為「運輸系統調適共同課程」及「各運輸系統專業課程」兩大類，而調適共同課程再依課程屬性分為「調適基礎課程」與「調適進階課程」，「調適基礎課程」涵蓋基礎科學、理念與法規類，採講授方式授課，「調適進階課	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
	程」與「各運輸系統專業課程」則為執行方法與指引類課程，採工作坊方式實施，詳見報告第 5-23 頁。	
6. 課程規劃應根據蒐集分析之國內外相關文獻、問卷調查及訪談結果進行規劃設計，但報告書就所規劃課程，較無說明課程安排與前述文獻、調查結果之關聯性及邏輯性，建議補充說明。	感謝委員建議，已補充說明課程規劃經過參考文獻、問卷調查與訪談，確認運輸人員所須調適知能後設計課程，並與國內外調適課程進行對照，詳見報告第 5-19～5-23 頁。	同意。
交通部路政及道安司 蔡書彬副司長		
1. 第 5-7 頁表 5.1-3 問卷調查對象及回覆情形，公路、軌道及航空系統之回復數大於分配數，請釐清並補充說明。	感謝委員建議，問卷分配數為運研所發文中請各單位填寫數，各單位分派填寫人員可能略多於分配數或部分分派填寫人員未完成填寫之情況，因此分配數與回覆數相近但不一定完全相同，已於報告補充說明，詳見報告第 5-7 頁。	同意。
2. 第 5-13 頁第 6 行「陸運運輸設施權管機關人員雖為過去『國家氣候變遷調適行動方案』擬訂對象，然其對氣候變遷調適的認識最有限」，雖過去行動方案所提多為防災性質，但十年來的方案擬定、審查過程，參與人員應該對「調適」會有相當程度的瞭解，為何會有這樣的訪談結論？建議進一步探討為什麼出現這樣的結果，對後續課程的安排應有所幫助。	感謝委員建議，經檢討各單位接受訪談人員處理調適工作的年資與經驗不同，不宜直接就受訪人員訪談結果進行比較，報告已調整僅保留「航空單位桃園機場受國際機場規範，調適執行進度為所有單位最高」，刪除其他文字，詳見報告第 5-12 頁。	同意。
3. 第 5-34 頁有關學員對課程的吸收程度判斷方法，係以上課前後以相同題目進行測試，此種測試方式，如果題目在課程中	感謝委員建議，未來課程實施前將檢討課後測驗題目來源及施測方法，以確保能了解課程前後對該主題主要內容的理解程度。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
曾有特別說明，則難謂學員對「氣候變遷調適」的認知有顯著的提升。建議測試可更加細緻和全面，如課後測驗新增幾題調適概念性試題，確保測試的準確性和有效性。		
4. 有關課程的規劃，與報告前半部文獻回顧及案例分析的連結性不是很強，建議再加強說明。	感謝委員建議，已補充說明課程規劃經過參考文獻、問卷調查與訪談，確認運輸人員所須調適知能後設計課程，並與國內外調適課程進行對照，詳見報告第 5-19～5-23 頁。	同意。
5. 課程的規劃建議考慮到未來的可執行性，包括辦理單位、授課方式、學員對象、上課時（天）數、參與人員之人力資源和時間方面的限制...等，並思考在操作面如何吸引各機關(構)人員參加課程，以達到實際效果。	感謝委員建議，為解決參與人員之人力資源和時間方面的限制等問題，將規劃授課錄影放在網站上，使資訊持續可用，發揮課程最大效果。	同意。
6. 簡報第 65 頁建議事項，有關提升運輸權管機關人員調適專業能力及課程安排部分，屬本計畫團隊應辦事項，不應是建議事項；至於預算編列之建議，宜先熟悉我國公務機關預算編列方式，或考慮讓業主參與建議的制定，再行提出合宜、更符合實際執行的建議方式。	感謝委員建議，已依委員意見修正調適專業能力及課程安排建議，預算編列如何提出合宜、更符合實際執行將納入後續規劃辦理，詳見報告第 6-7～6-8 頁。	同意。
交通部航政司 韓振華副司長		
1. 本計畫為辦理課程規劃，蒐集國際間相關規範、文獻，並進行問卷調查及訪談，請再強化補充說明規劃之課程與國際文獻、問卷調查及訪談結果之關聯性。	感謝委員建議，已補充說明課程規劃經過參考文獻、問卷調查與訪談，確認運輸人員所須調適知能後設計課程，並與國內外調適課程進行對照，詳見報告第 5-19～5-23 頁。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
2. 在課程設計階段，建議不僅需要考慮課程的內容和結構，還應有連貫性和回饋機制，如同一批人受完整之訓練課程並回饋意見，以確保設計的課程能夠滿足學員的需求。	感謝委員建議，課程設計已考慮連貫性，部分課程須先上過先修課程，課後均有測驗及滿意度調查，以取得學員吸收與回饋意見，也建議後續課程取得授課教師的同意將授課錄影放在網站上，方便運輸管理機關（構）同仁參考和學習。	同意。
3. 表 5.1-3 問卷調查對象及回覆情形中，公路分配 40 份，回復數為 51 份，鐵路/捷運分配 50 份，回復數為 59 份，是否有誤，建請再予確認。	感謝委員建議，問卷分配數為運研發文中請各單位填寫數，各單位分派填寫人員可能略多於分配數或部分分派填寫人員未完成填寫之情況，因此分配數與回覆數相近但不一定完全相同，已於報告補充說明，詳見報告第 5-7 頁。	同意。
4. 表 5.5-1 整體課程規劃表中，A6 運輸法規與調適課程師資待定，考量公、鐵、海、空各運具之法規與須遵循之國際規範均有不同，要找到能熟悉與精通各運具法規之師資或許不易，另各運輸部門需瞭解之法規與國際規範之需求亦有所不同，是否移至 C 各運輸系統專業課程，建議再予衡酌考量。	感謝委員建議， 1. A7 課程（原 A6 課程）中運輸法規與調適，將以我國氣候變遷法對調適管理需求出發，提供各單位檢視、調整所屬法規能符合氣候變遷法規並能完成各單位應配合辦理事項，並將屬性由「調適通識課程」的 A 類課程調整為「跨運輸系統共同專業課程」的 B 類課程。 2. 各運輸部門需瞭解之國際規範需求將納入各運輸系統專業課程或課綱。	同意。
5. 報告第 5-18 頁中提及高階主管對運輸系統調適的認知相對模糊，惟依表 5.5-2 課程地圖中所列僅需接受 A2 國家法規與政策及 A6 運輸法規與調整，其涵蓋面是否足夠，建議再予考量。建議對主管的培訓課程規劃能	感謝委員建議，考慮高階主管對調適業務理解需求及出席課程時間，將為高階主管單獨規劃涵蓋調適基礎理念、調適執行框架及氣候變遷法規需求 3 個主題，在「調適通識課程」A 類課程新增「A1 高階人員調適綜合課程」	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
兼顧培訓的廣度和深度，除了提供了解整體運輸氣候變遷調適工作的入門課程外，也應提供更深入的專業知識培訓。	3 小時課程，B 類及 C 類實務課程因課程時數較多，建議高階主管評估時間自由參加，詳見報告第 5-24～5-33 頁。	
6. 報告書第 5-27 頁提及本（112）年度優先辦理共通基礎課程，明（113）年賡續辦理調適專業課程，惟查本年舉辦之兩場次教育訓練課程，僅完成共通基礎課程中 A1-A4 等四項課程，A5 及 A6 似未安排，是否將於本年完成或將於明年賡續辦理，建請再予釐清。另課後問卷有 90%以上的參與者對講授課程內容表示滿意，不知是否有調查參與學員對課程內容及時數有無調整之建議。	感謝委員建議。 1. 本計畫為兩年期計畫的第一年，本（112）年度計畫前期進行課程整體規劃，僅針對部分優先辦理共通基礎課程實施，第二年將賡續辦理其他課程。 2. 滿意度調查問卷題目有包括對課程內容滿意度，也有提供意見回饋的開放式回覆空間，今年度並未收到課程時數相關的建議。明年度計畫將參採委員意見，納入各個課程上課時數是否適當或增減必要的題目。	同意。
7. 以下文字似有誤植，建議釐清後修正： (1)第 5-25 頁表 5.5-2 中 A6「調適相關運輸法規調整」建議修正為「運輸法規與調適」。 (2)第 5-31 頁教育訓練第二場次講師生態專業技術服務商業同業公會理事長「黃於玻」建議修正為「黃于玻」。 (3)第 5-34 頁最後一段「運研究所」建議修正為「運輸研究所」。	感謝委員建議， 1. 表 5.5-2 及表 5.5-3 中 A7（原 A6）「調適相關運輸法規調整」已修正為「運輸法規與調適」。 2. 「黃於玻」已修正為「黃于玻」，詳見報告第 5-28 頁。 3. 第 5-41 頁（原第 5-34 頁）「運研究所」已修正為「運輸研究所」。	同意。
交通部航政司		
1. 本計畫第 4.3 節氣候變遷調適之運輸系統領域知能，係依循公路系統、軌道系統、港埠設施、機場設施四大系統為架構	感謝委員建議。已分別於措施 1-1、措施 1-4 及措施 4-6 補充三則港埠、海運之調適實務案例。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
（第 4-23 頁至第 4-32 頁)探究討論,惟本計畫第 3.6 節檢討後之調適策略，策略一至四所蒐集之氣候變遷調適實務案例，僅含括公路、鐵路、法國生態部、機場、氣象、義大利地方政府、國家災防科技中心及歐盟等（第 3-37 頁至第 3-81 頁），建議補充國際上有關港埠、海運之調適實務案例。		
2. 本計畫第 4.2 節氣候變遷科學之調適通識知能,所整理「辨識潛在對交通設施造成衝擊之氣候變遷危害因子(極端溫度、極端降雨、暴風、海平面/風暴潮)」(表 4.2-2，第 4-14 頁至第 4-16 頁),已將危害因子對設施之衝擊依公路、鐵路系統區分，考量港灣與機場設施基本特性亦有極大差異，建議計畫團隊亦將港口、機場之危害因子衝擊，依系統區分表列。	感謝委員建議。原報告書中表 4.2-2 與表 2.1-3 重覆,保留表 2.1-3,並將港口、機場之危害因子衝擊分列。於 4.2.3 節討論則引用表 2.1-3。	同意。
交通部公路局		
1. 報告書第 1-4 頁~第 1-5 頁，國家氣候變遷調適行動計畫（112-115 年）於 112 年 10 月 4 日奉行政院核定,第三期行動方案為 112-115 年，請修正。	感謝委員指正。成果報告書已修正。	同意。
2. 公路局已將因應氣候變遷納入契約規範第 2 條「履約標的」,並以下達各分局據以執行，後續可由辦理可行性研究、綜合規劃之顧問公司進行風險評估及調適策略。本計畫後續規劃之基礎及專業課程將有助於以	感謝委員提供更新資訊。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
全生命週期角度思考因應氣候變遷衝擊，提升公路韌性。		
3. 公部門氣候變遷調適案係委外辦理，未來教育訓練對象建議可將顧問公司納入。	感謝委員建議，將納入評估。	同意。
4. 為避免公部門承辦人員異動造成氣候變遷教育訓練資料中斷，建議未來可將教育訓練內容置於所內網站，俾利提供各界參考。	感謝委員建議，將納入評估。	同意。
5. 修正誤植： （1）橋樑請修正為橋梁。 （2）報告書第 2-41 頁~第 2-42 頁：第 2 -41 頁圖 2.1-3、圖 2.3.8、第 2-42 頁圖 2.3.3，圖號錯誤且無附圖。	感謝委員指正。成果報告書已修正。亦修復圖文分離部分。	同意。
交通部高速公路局		
1. 報告書第 2-14 頁圖 2.2.2 運輸系統氣候變遷調適四大策略及 15 項措施，已完整提供各運輸單位調適方向，建議本案課程規劃應與此相互勾稽比對，會更符合所需。	感謝委員建議，運輸系統氣候變遷調適四大策略及 15 項措施的介紹，將檢討後續課程納入說明。	同意。
2. 文字錯誤，第 5-13 頁…高工局…應修正為高公局。	感謝委員指正，報告已修正，詳見第 5-12 頁。	同意。
交通部鐵道局		
1. 計畫團隊近期曾到局進行深度訪談，並已將訪談內容放入報告書，顯示團隊的積極，值得稱讚。	感謝委員肯定。	同意。
2. 簡報第 27 頁措施 1-2 所列高風險潛勢地區之案例值得參考，其中英國部會與地方單位合作	感謝委員建議，將在後續實務工作坊課程規劃中，檢討是否可納入做為探討案例。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
之方式如何應用到國內，是調適很重要的議題。		
3. 措施 4-5 視需要成立氣候變遷調適專責單位，這應是指交通部，惟目前氣候變遷調適議題迫在眉梢，是否仍只是「視需要」，或應強調對氣候變遷調適專責單位的迫切需求，請再評估並補充說明。	感謝委員意見，建議各單位自行評估。	同意。
4. 針對調適課程的建議和問題，是否應該縮小優先授課對象的範圍？是否考慮錄製課程影片供無法參加實體課程者學習管道？另如何避免學員排斥並激發對氣候變遷調適課程興趣，未來也可提出建議方法。在課程開發和授課資源上，建議可與積極參與氣候變遷相關的民間組織合作。	1. 感謝委員建議，將納入評估。 2. 課程與授課師資並未限制民間組織參與，本年度自然解方課程講師即為民間組織人員。	同意。
5. 報告書建議機關可遴派人員出國參訪，以學習其他國家的氣候變遷調適經驗，立意甚佳，但由於年度預算的限制，需即早納入出國計畫規劃，以確保有出國預算可執行。	感謝委員建議，建議各單位在預算彈性範圍內優先辦理。	同意。
交通部民用航空局		
1. 報告書第 3-16 頁「交通部民航局於 112-115 排入「民用航空局所屬航空站氣候變遷調適能力推動計畫」，請修正為 112-115「年」。	感謝委員指正。報告已修正，詳見第 3-18 頁。	同意。
2. 報告書第 5-13 頁「民航局於『國家氣候變遷調適行動方案』第三期（112-116 年）…」， 此計畫名稱業經國發會調整為「國	感謝委員指正。報告已修正，詳見第 5-12 頁。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
家氣候變遷調適行動計畫（112-115 年）」，建請修正。		
3. 報告書第 5-13 頁「民航局...，預計於明年開始進行 TCFD 風險評估」，本局以符合《氣候變遷因應法》與「國家氣候變遷調適政策綱領」的規範為主，配合國家政策展開氣候變遷調適工作，若未來國家要求公共事業單位導入 TCFD，將再進行導入與評估，建請修正。	感謝委員指正。報告已修正刪除。	同意。
4. 附 1-2 頁「經由訪談包括交通部民用航空局航站、...」，請刪除航站二字。	感謝委員指正。已修改。	同意。
本所運輸經營及管理組		
1. 教育訓練應該是一個常態性的機制，以應對單位人員異動。即使未參與實體課程的人，也應有管道可獲取教材進行自我學習。本計畫 113 年將辦理調適專業課程，將會有一批學員接受教育訓練，然而，需思考如何確保學員所任職務在人員異動後，新進人員仍能獲得持續培訓（如可透過提供多元學習資源的方式解決）。	後續課程規劃在取得授課教師的同意後，將授課錄影放在網站上，方便運輸管理機關（構）同仁參考和學習，在單位人員異動時，新進人員仍能獲得持續培訓。	同意。
國立陽明交通大學運輸與物流管理學系馮正民榮譽退休教授（書面意見）		
1. 課程目前分為三類：通識、共同、專業，建議未來可就培訓人員之職責功能，分為策略管理層級、規劃管理層級、及作業管理層級，分別擬定培訓課程。	感謝委員建議，課程規劃已提出分職掌及層級之課程建議，建議在本計畫執行後回歸各機關參考並落實實施調適人才培訓，詳見報告第 6-7 頁。	同意。
2. 課程授課方式策略與規劃層級除了必要的授課外，儘量使用互動式之工作坊式。作業層級	感謝委員建議，課程已規劃執行方法與指引類課程以工作坊、實務性操作方式為原則，詳見報告	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
儘量以實務性操作方式。	第 5-24 頁。	
3. 第 6-6 頁，文中建議優先加強高階主管對調適認知，若能對其認知課程有所初步建議， 如其課程應著重概念及法規認識外，應教導其調適策略之產生及運用，則屬更佳。	感謝委員建議，已在高階人員調適綜合課程之課綱納入「調適策略之產生及運用」，詳見報告第 5-28 頁。	同意。
4. 第 6-6 頁，文中建議運輸單位主動推派出國參訓受訪，若能界定出國參訪人員層級，且於出國前在國內宜預受一些基本調適課程，則屬更佳。	感謝委員建議，已納入建議事項，詳見報告第 6-6 頁。	同意。
5. 第 6-7 頁，文中建議透過成本效益分析評估調適預算，調適策略之成本效益評估方法內容與方法，是否相同於一般建設案成本效益評估方法，未來宜予說明。	感謝委員建議，調適策略之成本效益評估方法內容與方法，與一般計畫案的成本效益評估方法相同，惟調適的效益需以「未執行調適措施造成損害」與「執行調適後損害差」，在扣除「調適成本」的方式計算。	同意。
6. 第 6-7 頁，文中建議進階課程，目前尚無具實際經驗講師，如第 5-22 頁所示，B2 課程涉及風險評估，交通部所屬一級單位皆有進行風險管理，且文官學院亦有授風險與危機管理課程之講師，稍微教導其調適之風險評估方法，應可培養一些實際講師。	感謝委員建議，調適風險評估執行方式與一般風險管理不盡相同，目前環境部正在研擬調適風險評估準則，本計畫已與環境部密切聯繫，掌握調適風險評估準則制定時程、內容及講師清單，未來文官學院若有合適講師也將納入師資清單。	同意。
交通部臺灣鐵路管理局（現國營臺灣鐵路股份有限公司）（書面意見）		
1. 表 5.2-2 深度訪談名單更新單位及訪談對象如下：臺灣鐵路管理局工務處橋隧科林于閔股長及臺灣鐵路管理局營運安全處災防科簡信立科長	感謝委員指正，已修正。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
本所運輸能源及環境組		
1. 報告書 2.2 節「國際氣候變遷調適發展趨勢」內容除蒐集國外相關文獻外，亦蒐集氣候變遷因應法關於調適之相關規定及本所 111 年研提之運輸系統調適四大策略 15 項措施，並與國外調適措施進行比較，爰 2.2 節標題建議調整。	謝委員建議。成果報告書已修改，將國際氣候變遷調適發展趨勢文獻比較運輸系統調適四大策略 15 項措施部分移至第三章。	同意。
2. 本計畫已完成滾動檢討我國運輸系統調適策略，並提出修正建議，請團隊將 3.7 節檢討後之調適策略措施重點內容補充納入 3.6 節「檢討後之調適措施」中，並補充相關案例說明。	感謝委員建議。成果報告書將原期末報告之將 3.7 節檢討後之調適策略措施重點內容補充納入「檢討後之調適措施」一節中，並將 3.5 節運輸系統調適措施具體實務應用案例與原 3.6 節檢討後之調適策略措施合併，以做為示範案例說明。	同意。
3. 為利相關機關參考應用，報告書 3.5 節請補充各案例之資料來源，以利檢索。	已將相關案例標註參考資料來源，詳見參考文獻。	同意。
4. 「運輸系統調適措施實務應用案例資料清單」除臚列運輸系統調適措施之各案例名稱外，亦請提供相關文獻內容或網站連結。	已提供文獻網站連結。	同意。
5. 本計畫已完成蒐集我國運輸系統調適策略各措施之具體實務應用案例，相關案例請納入或更新 3.6 節「檢討後之調適措施」之相關措施案例內容。	依委員建議，成果報告書將原期末報告之 3.5 節「運輸系統調適措施具體實務應用案例」之個案已併入原 3.6 節「檢討後之調適策略措施」，以方便藉由示範性的案例說明與氣候變遷調適措施的關係。	同意。
6. 本計畫目前係規劃整體氣候變遷調適專業知識課程，部分規劃課程師資待定，請提出建議	已依承辦單位意見提出整體氣候變遷調適專業知識課程建議師資，詳見報告第 5-25～5-29	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
方案（含後續國內相關師資培訓之建議）。	頁，後續師資培訓建議邀請國內調適相關學者專家共同研商。	
7. 有關師資洽邀、核發時數認證、滿意度調查等項目，請團隊補充納入課程規劃內容。	已依承辦單位意見，在課程規劃內容提出師資洽邀、核發時數認證、滿意度調查等項目。	同意。
主席結論		
1. 為強化本計畫調適專業課程之推廣，請評估取得授課教師的同意將授課錄影放在網站上，方便運輸管理機關(構)同仁參考和學習；同時探討是否可進一步連結到公務人員學習資源，並納入後續第 2 年度課程辦理之精進建議。	遵照辦理，將把評估取得授課教師的同意將授課錄影放在網站上，及是否可進一步連結到公務人員學習資源，納入第 2 年度課程辦理之精進事項。	同意。
2. 後續若規劃將教育訓練的責任轉交給各機關(構)自行進行培訓，請確定移轉對象和方式，包括：是否將整套課程規劃提供給各部屬機關（構），或是針對不同機關（構）有不同課程規劃？目前課程是否能符合各機關(構)需求？請納入後續規劃建議，俾利後續部屬機關（構）應用。	遵照辦理，將把課程資料移轉對象和方式，包括：是否將整套課程規劃提供給各部屬機關（構），或是針對不同機關（構）有不同課程規劃、目前課程是否能符合各機關（構）需求納入後續規劃建議事項。	同意。
3. 本計畫已完成滾動檢討我國運輸系統調適策略，並蒐集我國運輸系統調適策略各措施之具體實務應用案例，請團隊將滾動檢討後之調適策略措施重點內容納入報告書 3.6 節「檢討後之調適策略措施」中，並補充、更新相關調適措施案例。	遵照辦理，成果報告書已將原期末報告之 3.5 節「運輸系統調適措施具體實務應用案例」之個案已併入原 3.6 節「檢討後之調適策略措施」，並補充、更新相關調適措施案例。	同意。
4. 為利相關機關參考應用，報告書 3.5 節請補充各案例之資料來源。另「運輸系統調適措施實	遵照辦理。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回應	本所審查意見
務應用案例資料清單」，除臚列運輸系統調適措施之各案例名稱外，亦請提供相關文獻內容或網站連結，以利檢索。		
5. 部分規劃課程師資待定，後續仍請提出建議師資方案。	遵照辦理，詳見報告表 5.5-2。	
6. 本計畫為 2 年期計畫，本(112)年度係規劃整體氣候變遷調適專業知識課程，請團隊參酌委員及與會單位意見，修訂報告書之課程規劃及後續辦理方式，俾做為 113 年計畫相關課程安排之參考應用。	遵照辦理。	同意。
7. 審查會議各委員及與會單位研提之口頭及書面意見，請景丰科技股份有限公司製作「審查意見處理情形表」，逐項說明回應辦理情形，並納入報告之修正。	遵照辦理。	同意。
8. 本計畫經徵詢審查委員意見，期末報告初稿審查原則通過，請景丰科技股份有限公司依委員及與會單位意見修正報告書，於 112 年 12 月 20 日（三）前提送報告書修正稿，授權本所再行確認。	遵照辦理。	同意。

附錄 4

氣候變遷調適認知問卷

附錄 4 氣候變遷調適認知問卷

運輸單位氣候變遷調適認知問卷(正式問卷)

親愛的先生/女士：

您好！感謝您在百忙之中抽空填寫問卷，10 分鐘內即可完成，本問卷目的在於瞭解運輸交通單位一般從業人員對於「氣候變遷調適」的認知**（不必負責過相關業務，只要是運輸交通單位工作人員都可填寫）**，以利日後規劃培力課程。本問卷採不計名方式，亦不會對外公開，請您安心填寫，再次感謝您的協助。

敬祝
平安順心
景丰科技股份有限公司

問卷聯絡人：賴曉薇
連絡電話：02-2377-8011#272
電子信箱：hiaubi@simenvi.com.tw

線上問卷
https://reurl.cc/LAek7e

一、 認知背景

1. 請問您是否上過氣候變遷相關課程？
O （1）是 O （2）否

2. 在填答此問卷前，請問您是否聽過下列名詞？**（可複選）**
□ （1）氣候變遷調適
□ （2）巴黎協定
□ （3）聯合國氣候變遷大會（COP）
□ （4）氣候變遷因應法
□ （5）國家災害防救科技中心（NCDR）
□ （6）皆未聽過

3. 請問您認為自己對「**運輸部門氣候變遷調適**」工作內涵的瞭解程度為何？
O （1）非常不瞭解 O （2）不太瞭解 O （3）還算瞭解
O （4）很瞭解 O （5）非常瞭解

4. 在您所任職的運輸領域中，氣候變遷或極端氣候事件所帶來的**衝擊程度***為何？

*「衝擊」說明：例如因氣候事件導致無法提供乘客服務，造成經濟或權益損失，而極端事件如果頻繁發生，交通單位須規劃應對機制，例如提供等候期配套措施或是備案交通方式。

O （1）無或微小　O （2）部分或有時受影響

O （3）影響重大　O （4）不清楚

二、知識

提醒您！接下來是有關「氣候變遷調適」的是非題跟單選題，請按您「目前的認知」作答即可，不用有壓力，即使是選「不知道」的選項，也是一個對現況的反映，可以幫助我們更瞭解實際情形、日後規劃課程。

1. 「**氣候變遷**」是指氣候狀態的長期變化（幾十年或更長時間），成因包含自然的變異程度，更與人類活動息息相關

O（1）是　O（2）否　O（3）不知道

2. 「**氣候變遷調適**」是管理氣候變遷為人類與自然帶來的風險，並且進行調整與適應的過程

O（1）是　O（2）否　O（3）不知道

3. 以下是有關建立「**氣候變遷調適能力**」的敘述，請選擇您認為**最正確**的選項（**單選**）

O （1）臺灣國土面積小，各運輸交通單位面臨的調適風險及困境趨於一致

O （2）要建立氣候變遷調適能力，可從盤點知識與能力的缺口著手

O （3）氣候變遷調適能力的建構可於短期見效，因此廣受政府及企業採行

O （4）「運具電動化」是各運輸交通單位須盡速採行的調適行動

O （5）不知道

4. 下列何者**不是**運輸系統面臨的氣候壓力因素？

O （1）強降雨

O （2）高溫

O （3）暴潮

O （4）地震

O （5）以上皆是氣候壓力因素

O （6）不知道

5. 以下何者**較不屬於**運輸交通單位提升氣候變遷調適能力之作法？

O （1）辨識危害因子

O （2）執行風險評估

O （3）降低運具碳排放

O （4）考量跨運輸系統整合與備援機制

O （5）不知道

6. 氣候變遷調適的行動重點與時俱進，下列研究主題中，何者**最符合**當前的氣候變遷調適關注重點？

O （1）花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術

O （2）鐵公路系統氣候變遷脆弱度及風險地圖

O （3）物聯網技術應用於智慧港口及碼頭作業

O （4）國際航空碳排管制發展分析

O （5）不知道

三、經驗與未來行動

1. 請問您是否負責或辦理過氣候變遷調適相關業務？

O（1）是　O（2）否

2. 對您所在的機關設施，下列行動或培訓主題何者**最重要**？**（可複選，最多 5 個）**

□（1）調適新知與案例（其他單位如何管理與應對氣候挑戰）
□（2）氣候變遷衝擊與情境資訊（未來的影響程度、環境與社會條件等）
□（3）氣候變遷風險評估方法（如何辨識及管理關鍵風險）
□（4）調適對策研擬實務（如何找出適合的因應方式，與風險共存）
□（5）調適行動計畫撰擬教學（如何依主管機關需求撰寫與時俱進的調適方案）
□（6）建置或應用調適所需資料庫及工具（如何運用數位工具，彙整數據並轉化為有用資訊）
□（7）增加氣候弱勢族群服務（辨識哪些情況會阻礙特定族群取得所需服務，並保障其權益）
□（8）不知道
□（9）其他：_____

3. 在您所任職的運輸領域或機構中，**哪些部門或領域**的同仁，最能夠從氣候變遷調適訓練課程中受益？**（可複選，最多 5 個）**

□（1）運輸規劃、管考
□（2）工程/設計
□（3）設施營運
□（4）工務養護
□（5）資訊
□（6）採購、總務
□（7）宣傳、公共關係
□（8）環境安全衛生
□（9）不知道
□（10）其他：_____

四、基本資料

1. 請問您的生理性別？

O（1）男　O（2）女

2. 請問您的年齡？

O （1）30 歲以下

O （2）31~40 歲

O （3）41~50 歲

O （4）51~60 歲

O （5）61 歲以上

3. 請問您所任職的運輸系統？

O （1）公路（公路總局、高速公路局）

O （2）鐵路（鐵道局、鐵路局、高鐵公司）

O （3）航空（民航局、桃園機場公司）

O （4）港務（航港局、臺灣港務公司）

O （5）觀光（觀光局）

O （6）綜合業務（交通部及其他部屬機關）

O （7）其他：_____

4. 請問您的職務性質？

O（1）主管　O（2）非主管

5. 建議

感謝您撥空填答，改變因您而生！

運輸單位氣候變遷調適認知問卷(問卷初稿)

親愛的先生/女士：

您好！感謝您在百忙之中抽空填寫問卷，10 分鐘內即可完成，本問卷目的在於瞭解運輸單位一般從業人員對於「氣候變遷調適」的認知**（不必負責過相關業務，只要是運輸單位工作人員都可填寫）**，以利日後規劃培力課程。本問卷採不計名方式，亦不會對外公開，請您安心填寫，再次感謝您的協助。

敬祝
平安順心

景丰科技股份有限公司
計畫主持人：李曜全博士
問卷聯絡人：賴曉薇
連絡電話：02-2377-8011#272
電子信箱：hiaubi@simenvi.com.tw

線上問卷
https://reurl.cc/LAek7e

二、 認知背景

1. 在填答此問卷前，請問您是否聽過「**氣候變遷**」？

   O（1）是　　O（2）否

2. 在填答此問卷前，請問您是否聽過「**氣候變遷調適**」？

   O（1）是　　O（2）否

3. 請問您知道「**氣候變遷調適**」是指什麼嗎？

   O （1）非常不瞭解　O （2）不太瞭解　O （3）還算瞭解

   O （4）很瞭解　　O （5）非常瞭解

4. 請問您瞭解「**氣候變遷調適**」與「**防災**」的區別嗎？

   O （1）非常不瞭解　O （2）不太瞭解　O （3）還算瞭解

   O （4）很瞭解　　O （5）非常瞭解

5. 請問您認為自己對「**運輸單位氣候變遷調適**」的工作內涵瞭解嗎？

   O （1）非常不瞭解　O （2）不太瞭解　O （3）還算瞭解

   O （4）很瞭解　　O （5）非常瞭解

6. 在您所任職的運輸單位中，氣候變遷或極端氣候事件所帶來的**衝擊程度***為何？

*「衝擊」說明：例如因氣候事件導致無法提供乘客服務，造成經濟或權益損失，而極端事件如果頻繁發生，運輸單位須規劃應對機制，例如提供等候期配套措施或是備案交通方式。

O （1）無或微小　O （2）部分或有時受影響

O （3）影響重大　O （4）不清楚

二、知識

提醒您！接下來是有關「氣候變遷調適」的是非題跟單選題，請按您「目前的認知」作答即可，不用有壓力，即使是選「不知道」的選項，也是一個對現況的反映，可以幫助我們更瞭解實際情形、日後規劃課程。

1. 「**氣候變遷**」是指氣候狀態的長期變化（幾十年或更長時間），成因包含自然的變異程度，更與人類活動息息相關

   O（1）是　O（2）否　O（3）不知道

2. 「**氣候變遷調適**」是管理氣候變遷為人類與自然帶來的風險，並且進行調整與適應的過程

   O（1）是　O（2）否　O（3）不知道

3. 「**京都議定書**」於 2015 年聯合國氣候變遷大會（COP21）上簽署，提供一個全球性的框架，讓各國共同合作以減緩氣候變遷的影響並提升調適能力

   O（1）是　O（2）否　O（3）不知道

4. **聯合國氣候變遷大會（COP）**的決議對全球氣候政策發揮重大影響力，最重要的目標是在本世紀末前，致力將全球升溫控制在**攝氏 2.5 度**內

   O（1）是　O（2）否　O（3）不知道

5. 為因應全球氣候變遷，制定氣候變遷調適策略，降低與管理溫室氣體排放，我國制定**《氣候變遷因應法》**提供政策面指導原則

   O（1）是　O（2）否　O（3）不知道

6. 依據國家氣候變遷調適行動計畫，**運輸單位的調適方案**屬於以下**哪個領域**？**（單選）**

O （1）土地利用
O （2）水資源
O （3）能源供給及產業
O （4）維生基礎設施
O （5）不知道

7. 以下是有關運輸單位建立「**氣候變遷調適能力**」的敘述，請選擇您認為**最正確**的選項**（單選）**

O （1）臺灣國土面積小，各運輸單位面臨的調適風險及困境趨於一致
O （2）要建立氣候變遷調適能力，可從盤點知識與能力的缺口著手
O （3）氣候變遷調適能力的建構可於短期見效，因此廣受政府及企業採行
O （4）「運具電動化」是各運輸單位須盡速採行的調適行動
O （5）不知道

8. 下列何者**不是**運輸系統面臨的氣候壓力因素？**（單選）**

O （1）強風
O （2）高溫
O （3）暴潮
O （4）以上皆是氣候壓力因素
O （5）不知道

9. 以下何者**較不屬於**運輸單位提升氣候變遷調適能力之作法？**（單選）**

O （1）辨識危害因子
O （2）執行風險評估
O （3）降低運具碳排放
O （4）考量跨運輸系統整合與備援機制
O （5）不知道

10. 氣候變遷調適的行動重點與時俱進，下列研究主題中，何者**最符合**當前的氣候變遷調適關注重點？**（單選）**

O （1）花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術
O （2）鐵公路系統氣候變遷脆弱度及風險地圖

O （3）物聯網技術應用於智慧港口及碼頭作業

O （4）國際航空碳排管制發展分析

O （5）不知道

三、經驗與未來行動

1. 請問您是否上過**氣候變遷相關課程**？

O （1）是　O （2）否

2. 請問您是否負責或辦理過**氣候變遷相關業務**？

O （1）是　O （2）否

3. 對於您所在的機關設施，請評估下列行動或培訓主題的**需求程度**？（**每個主題有 4 個選項，使用手機者請左右滑動**）

培訓主題	低度需求	中度需求	高度需求	不知道
1. **調適新知與案例** （如各運輸單位可能面臨的複合性氣候災害、如何以「自然解方(NbS)」推動調適行動）	O	O	O	O
2. **氣候變遷衝擊與情境資訊** （解讀氣候變遷科學報告，瞭解未來的情境假設與影響程度）	O	O	O	O
3. **氣候變遷風險評估方法** （如運用「氣候相關財務揭露(TCFD)」方法論以辨識及管理風險）	O	O	O	O
4. **調適對策研擬實務** （瞭解相關政策、法規與潛在合作單位，並應用國際調適管理框架，如 ISO 14090）	O	O	O	O
5. **調適行動與永續發展目標（SDGs）連結** （何為「永續發展目標」及呼應各目標的運輸單位調適行動）	O	O	O	O
6. **建置或應用調適所需資料庫及工具** （如何運用數位工具，彙整數據並轉化為有用資訊）	O	O	O	O
7. **增加氣候弱勢族群服務** （辨識哪些情況會阻礙特定族群取得所需服務，並保障其權益）	O	O	O	O

4. 對您所在的機關設施，若以「**完成氣候變遷因應法下運輸單位行動方案報告書**」為目標，下列培訓主題何者應**優先進行**？**（可複選，最多 3 個）**

□（1）**調適新知與案例**（如各運輸單位可能面臨的複合性氣候災害、如何以「自然解方(NbS)」推動調適行動）

□（2）**氣候變遷衝擊與情境資訊**（解讀氣候變遷科學報告，瞭解未來的情境假設與影響程度）

□（3）**氣候變遷風險評估方法**（如運用「氣候相關財務揭露(TCFD)」方法論以辨識及管理風險）

□（4）**調適對策研擬實務**（瞭解相關政策、法規與潛在合作單位，並應用國際調適管理框架，如 ISO 14090）

□（5）**調適行動與永續發展目標（SDGs）連結**（何為「永續發展目標」及呼應各目標的運輸單位調適行動）

□（6）**建置或應用調適所需資料庫及工具**（如何運用數位工具，彙整數據並轉化為有用資訊）

□（7）**增加氣候弱勢族群服務**（辨識哪些情況會阻礙特定族群取得所需服務，並保障其權益）

□（8）不知道

□（9）其他：_____

5. 在您所任職的運輸機構中，**哪些部門或業務職掌**的同仁，最能夠從氣候變遷調適訓練課程中受益？**（可複選，最多 5 個）**

□（1）運輸規劃/設計

□（2）工程/施工

□（3）管考

□（4）設施營運

□（5）工務養護

□（6）資訊

□（7）採購、總務

□（8）宣傳、公共關係

□（9）環境安全衛生

□（10）不知道

□（11）其他：_____

四、基本資料

1. 請問您的性別？

O（1）男　O（2）女　O（3）其他

2. 請問您的年齡？

O （1）30 歲以下

O （2）31~40 歲

O （3）41~50 歲

O （4）51~60 歲

O （5）61 歲以上

3. 請問您所任職的運輸系統？

O （1）公路（公路總局、高速公路局）

O （2）鐵路（鐵路、捷運、臺鐵局、高鐵公司）

O （3）航空（民航局、桃園機場公司）

O （4）港務（航港局、臺灣港務公司）

O （5）觀光（觀光局）

O （6）其他（如交通部及其他部屬機關）

4. 請問您的職務性質？

O（1）主管　O（2）非主管

5. 建議

（有任何意見或建議，歡迎在此留言）

感謝您撥空填答，改變因您而生！

附錄 5

計畫簡報

附錄 5 計畫簡報

建構運輸管理機關(構)之調適專業能力 (1/2)-課題研析及課程規劃

計畫簡報



112年12月

大綱

1. 計畫緣起及工作目標
2. 文獻回顧
3. 運輸系統調適策略檢討及實務應用案例
4. 探討運輸權管機關(構)應具備之調適專業能力
5. 規劃氣候變遷調適專業知識課程
6. 結論與建議

交通部運輸研究所
Institute of Transportation, MOTC

1 計畫緣起及工作目標



1.1 計畫背景與目的
1.2 研究架構
1.3 工作項目與流程

1.1 計畫背景與目的

交通部運輸研究所
Institute of Transportation, MOTC

背景

調適能力建構推動策略：

第二期：落實教育人才培訓（107～111年）

建立事業調適能力（各領域）
推動校園調適教育（教育部）
提升全民調適共識（環保署）

氣候變遷因應法公布（112.02.15）

依據**氣候變遷因應法**第**17**條第**7**項：

強化**氣候變遷調適之教育**、**人才培育**及公民意識提升，並推展相關活動

第三期：教育向下扎根推動（112～115年）

易受氣候變遷衝擊領域各自辦理**專業人才訓練培育**



能力建構



目的

1. 規劃運輸系統**調適專業課程**
2. 提升運輸設施權管機關(構)人員之**調適專業能力**

1.2 研究架構

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

本計畫為兩年期計畫第一年

今(112)年計畫(1/2)核心：

- 運輸系統調適**策略滾動檢討**，蒐集各措施實務應用案例
- **探討**運輸設施權管機關(構)人員應具備之**調適專業知能**
- **規劃**氣候變遷調適**專業知識課程**及**辦理教育訓練**

明(113)年計畫(2/2)核心：

- 製作運輸系統因應氣候變遷調適**專業知識本**
- 研議運輸設施權管機關(構)**調適專業人才培育機制**
- **辦理運輸調適專業知識課程**

1.3 工作項目與流程

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

滾動檢討 運輸系統調適策略	探討 調適專業能力	規劃 專業知識課程	辦理 教育訓練	其他工作項目
文獻蒐集 ■ 既有策略措施 ■ 國內法規更新 ■ 國際發展趨勢	文獻蒐集	文獻蒐集	優先性課程	研究成果期刊投稿
比對需增補或調整項目	機關訪談	問卷調查與深度訪談	聯繫授課講師	計畫成果填報
提出策略措施調整草案	專業能力框架	應具備之專業能力	辦理12小時課程	成果海報、教材製作
訪談運輸管理機關(構)蒐集意見	調適通識知能	諮詢專家學者意見	課後測驗、問卷調查	
諮詢專家學者意見	運輸系統領域知能	參考國內外調適課程	後續教育訓練辦理建議	
完成調適策略檢討		綜合評估		
		完成課程規劃		

交通部運輸研究所
Institute of Transportation, MOTC

2 文獻回顧



2.1 氣候變遷對運輸系統之衝擊
2.2 國際氣候變遷調適發展趨勢
2.3 國內外運輸系統調適相關專業課程
2.4 文獻回顧啟示

2.1 氣候變遷對運輸系統之衝擊

交通部運輸研究所
Institute of Transportation, MOTC

1. 對運輸系統**影響層面**：包括**硬體設施、系統維護、系統正常運作、經濟和安全**均受到氣候影響UNECE(2020)
2. 造成影響的主要**氣候因子**：**持續高溫/熱浪、強降雨/洪水、暴風、海平面上升**
3. 全球所有公路和鐵路資產中約 27%至少面臨一種危害，並且大約7.5% 為百年頻率的洪水事件，其中73%與洪水有關（Koks，2019）
4. 在**航空業**氣候變遷脆弱度報告對全球航空利害相關人進行的調查顯示，平均氣溫和極端氣溫升高、降水量變化、風暴強度增加和海平面上升是航空運輸受影響最大的氣候因子，潛在影響包括**運營、基礎設施、經濟和安全**，對航空業各部門組織包括機場、空中導航服務(Air Navigation Service Providers, ANSPs)、飛機營運商 (ICAO, 2022)
5. 對於海運部分，港口在極端事件造成的沿海洪水可能導致運輸系統在事件期間無法使用，並損壞碼頭、貨運區、儲存區和貨物，並長期擾亂供應鏈。造成的影響可能包括**運營中斷、港口基礎設施和船舶以及和腹地的連結**受損。(UNCTD, 2020)

2.2 國際氣候變遷調適發展趨勢

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

一、IPCC第六次評估報告
二、COP27 氣候峰會調適重點
三、法國國家氣候變遷調適計畫
四、德國調適策略
五、英國倫敦市交通運輸氣候變遷調適計畫
六、美國氣候行動計畫
七、脆弱群體和社區及原住民族為本的交通調適措施

1.體制框架

法規制度及目標明確的**體制框架**、**政策工具**是實施、加速和維持調適行動的關鍵賦能條件（enabling conditions），有助於降低氣候調適限制



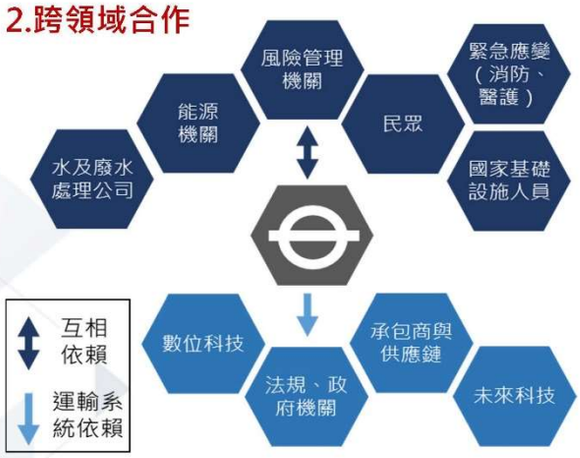
對應措施

1-3檢討並將氣候調適概念納入規範或作業程序

2.2 國際氣候變遷調適發展趨勢

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

2.跨領域合作



資料來源：Climate Change Adaptation Plan 2023 - Transport for London

- 在生態、永續發展和能源部下的機構監督，成立跨領域工作小組（法國）
- 協調整合影響交通網絡策略規劃、交通路線和各項基礎設施的七個聯邦機構、氣候科學專業知識部門及運輸專業機構（德國）
- 建立運輸系統和其他系統互相依賴及運輸系統依賴的關係網絡，例如水、電力和通信服務，以確保各種服務跨系統運作（英國）
- 善用跨單位及跨部會員工的氣候調適知識和經驗，包括與其他機構採購員工，協助各機構制定和實施與氣候調適相關的採購行動，以增強交通資產的韌性（美國）

對應措施

4-4強化氣候調適跨域整合推動與機制

2.2 國際氣候變遷調適發展趨勢

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

3.脆弱群體、氣候正義

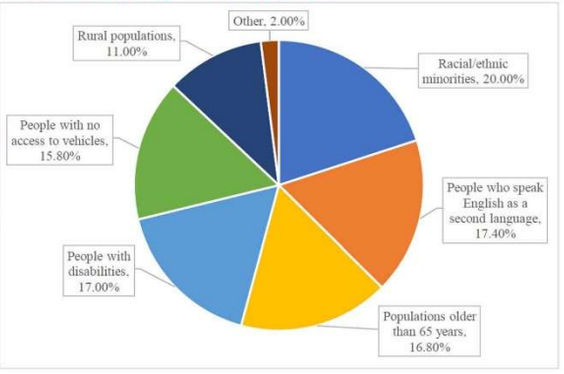


Figure 3. Composition of vulnerable populations served by experts

資料來源: Carver, J. Z., A., Yassir, (2002): Assessment of Transportation Systems Resilience for Vulnerable Communities and Populations. URL : https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/72284

IPCC
因為調適成本與資金的差異，導致弱勢群體的調適落差大，需注重參與實施過程、不平等和差異性影響以及氣候正義

COP27
確保(1)所有利害關係人充分參與
(2)辨識交通的脆弱族群
(3)易受氣候變遷影響的區域

對應措施 4-6調適計畫與利害關係人溝通或合作

2.3 國內外運輸系統調適相關專業課程

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

1.歐盟Guidelines for project managers



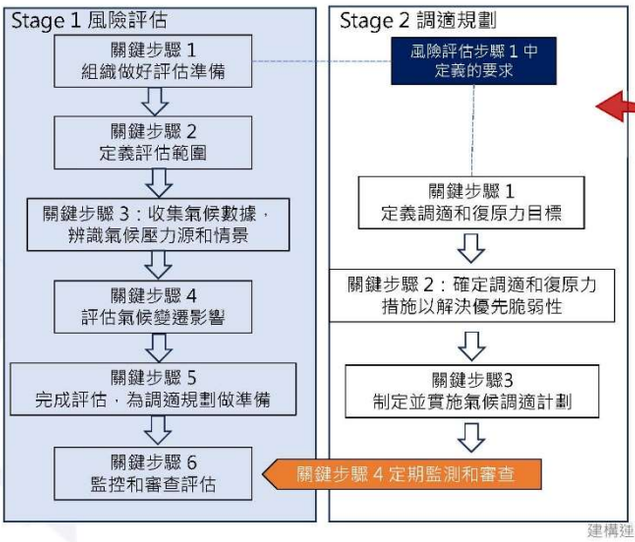
風險評估
1. 敏感度分析（SA）
2. 暴露評估（EE）
3. 脆弱度分析（結合模組1和2）（VA）
4. 風險評估（RA）

調適規劃
5. 調適選項的決定（IAO）
6. 調適方案評估（AAO）
7. 將調適行動計畫納入計畫（IAAP）

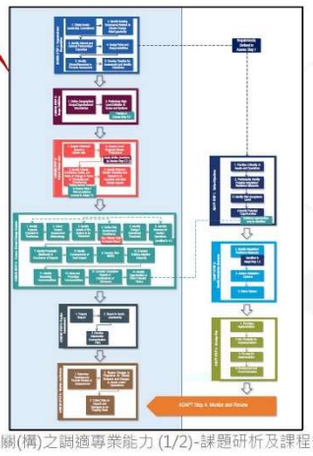
- **基本認知**：開發專案的應將調適模組納入既有評估程序的一部分（**主流化**），而非取代原有評估程序，調適模組可能**增加1至10%經費**
- **成本效益分析（Cost Benefit Analysis, CBA）**：投資計畫評估時必須納入調適模組，以選擇投資計畫氣候適應能力方面實現淨效益最大化的方案

2.3 國內外運輸系統調適相關專業課程

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC



2. Key steps in Aviation Organisation Climate Change Risk Assessment and Adaptation Planning, ICAO (2022)



2.3 國內外運輸系統調適相關專業課程

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

3.公路系統規劃階段調適指引

公路系統規劃階段強化調適能力之探討(2/2)
－強化調適能力作為與指引

公路系統規劃階段調適指引
（附冊一）

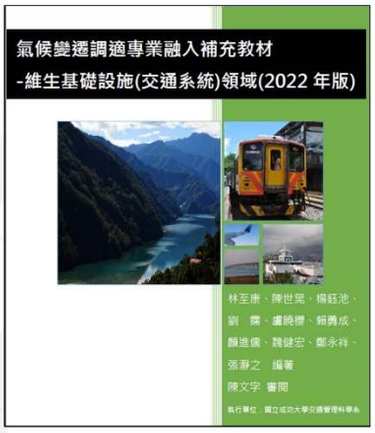
鼎漢國際工程顧問股份有限公司
中華民國 111 年 12 月 22 日

第3章 公路系統規劃階段強化調適能力機制	第4章 公路系統規劃階段強化調適能力方法
3.1公路系統規劃流程融入調適概念之框架	4.1公路系統氣候衝擊鏈分析方法
3.2第一階段：蒐集與分析氣候變遷相關資料	4.2公路系統氣候風險評估方法
3.3 第二階段：初步評估影響調適能力之氣候風險因素	4.3公路系統因應氣候變遷衝擊之調適選項
3.4第三階段：執行氣候變遷風險評估	4.4面對高度不確定性之決策方法
3.5公路跨其他運輸系統調適介面整合機制	

2.3 國內外運輸系統調適相關專業課程

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

4. 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(2022年版)



第一章 背景與基礎概念
- 1.1 氣候變遷概述
- 1.2 氣候變遷調適策略概要
- 1.3 永續運輸發展與氣候變遷

第二章 公路系統氣候變遷調適策略
- 2.1 背景分析
- 2.2 氣候變遷對公路主管機關之潛在影響及可能應對作為
- 2.3 公路、橋梁衝擊評估與風險管理方法
- 2.4 公路、橋梁調適策略
- 2.5 公路、橋梁調適策略行動方案
- 2.6 小結

第三章 軌道系統氣候變遷調適策略
- 3.1 背景分析
- 3.2 軌道運輸之災害警示系統
- 3.3 軌道系統之風險管理
- 3.4 小結

第四章 港埠設施氣候變遷調適策略 ...

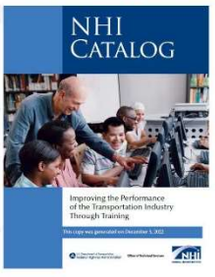
第五章 機場設施氣候變遷調適策略 ...

2.3 國內外運輸系統調適相關專業課程

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

5. 美國紐澤西州根據聯邦公路研究所課程列舉以下作為該州之氣候變遷調適能力課程





1. 了解過去、現在和未來的氣候變遷（2 小時）
2. 溫度和降水預測簡介（1 小時）
3. 系統**脆弱度評估**（2 小時）
4. 專案決策的調適分析（2 小時）
5. 解決公路計畫開發和初步設計中的**氣候復原力**
6. 將**永續性**融入基礎設施設計和決策：
   1) 確定永續發展的三大支柱（經濟、環境和社會）及其在基礎設施決策中的重要性
   2) 透過交通領域的具體例子描述權衡和上下文敏感性
   3) 對交通決策的各個階段，舉例說明如何將永續性指標納入交通決策的每個階段
7. NEPA 和**交通決策**簡介
8. **環境正義**基礎（5 小時）
9. 自行車設施設計（8 小時）
10. 空氣品質規劃：清淨空氣法概述（1.5 小時）

2.4 文獻回顧啟示

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

風險評估確認範疇

國際調適發展趨勢為先經過風險評估確認範疇再展開調適規劃，調適行動須回應社會不平等問題，尋求多領域解決方案

積極推動運輸領域調適

從所蒐集到和運輸系統相關的調適教材與課程，各先進國家已開始積極推動運輸領域調適工作，值得我國借鏡

運輸部門調適存在之共通性問題

01 技術高度專業化

交通工程具技術高度專業化，很難訂出跨傳統「知識社區（knowledge communities）」邊界的通用模式

02 設計、維護和運行

設計、維護和運行標準基於**氣候相關變量的特定值**而氣候預測通常以範圍值而非絕對值之方式給出

03 調適非優先事項

長期氣候變遷調適通常被視為非優先事項

04 預算編列

部門是否編列氣候變遷調適相關**預算**

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

3 運輸系統調適策略檢討及實務應用案例



3.1 前期調適策略概述
3.2 調適策略滾動檢討作業流程
3.3 調適策略檢討重點
3.4 運輸系統調適措施具體實務應用案例
3.5 檢討後之調適策略措施

3.1 前期調適策略概述

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

第三期調適行動方案（草案），維生基礎設施領域目標、策略與措施

目標	策略	措施
提升維生基礎設施因應氣候變遷之調適能力	強化**運輸系統調適**能力	強化運輸系統**預警應變力**
		提升運輸系統**耐受力/回復力**
		增進運輸系統**決策支援力**



3.2 調適策略滾動檢討作業流程

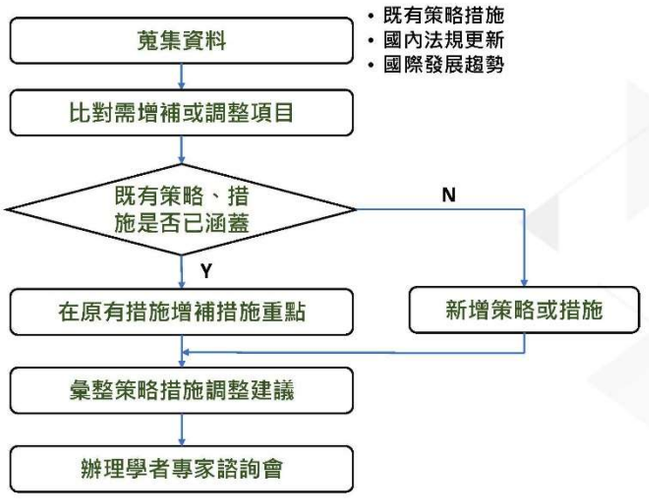
交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

既有策略措施

定位：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

內涵：**與災防救災策略區隔**，須為因應氣候變遷增加的風險所採取的因應作為，才屬於氣候變遷調適行動作為

範疇：設施範疇**涵蓋鐵路、公路、機場、商港**



3.3 調適策略檢討重點

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

氣候變遷因應法

第 17 條 為因應氣候變遷，政府應推動調適**能力建構**之事項如下：

一、**以科學為基礎**，檢視現有資料、推估未來可能之氣候變遷，並評估氣候變遷風險，藉以強化風險治理及氣候變遷調適能力。

二、強化因應氣候變遷相關環境、災害、設施、能資源調適能力，提升氣候韌性。

三、確保氣候變遷調適之推動得以回應國家永續發展目標。

四、建立各級政府間氣候變遷調適治理及協商機制，提升區域調適量能。

整合跨領域及跨層級工作

五、因應氣候變遷調適需求，建構**綠色金融機制**及推動措施。

六、推動氣候變遷新興產業、輔導、鼓勵氣候變遷調適技術開發、研發、推動氣候變遷調適衍生產品及商機。

十、強化氣候變遷調適之教育、**人才培育**及公民意識提升，並推展相關活動。

八、強化**脆弱群體**因應氣候變遷衝擊之能力。

九、融入綜合性與**社區及原住民族為本**之氣候變遷調適政策及措施。

十、其他氣候變遷調適能力建構事項。

1 原策略措施已涵蓋此概念，但措施重點未明確提及
策略一 提升衝擊**耐受力**
措施1-5 強化**跨運輸系統**的**運輸連結性**

2 原策略措施已涵蓋此概念，但措施重點未明確提及
策略四 增進決策**支援力**
措施4-1 建立調適計畫**投資決策評估方法**
措施4-3 建置或應用**風險管理**與調適所需資料庫及**工具**

3 原策略措施已涵蓋此概念，但措施重點未明確提及**課程**
策略四 增進決策**支援力**
措施4-5 培育氣候變遷風險管理與**調適專業人才**

4 原策略措施已涵蓋此概念，但措施重點未明確提及
策略四 增進決策**支援力**
措施4-6 調適計畫與**利害關係人溝通**或合作

3.3 調適策略檢討重點

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

國外運輸部門調適策略

U.S.DOT-*Climate Action Plan* (2021.08)

Policy Statement 5大政策內涵：

- Use Best-available Science
  最佳可行科學
- Prioritize the Most Vulnerable
  脆弱族群優先
- Preserve Ecosystems
  保護生態系統
- Build Community Relationships
  建構社區連結
- Engage Globally
  確保全球化

雖未直接指出自然為解方(Nature-based Solutions, NbS)，但NbS為達成此目標之重要方法

運輸系統透過調適策略**保護生物多樣性**和**生態系統**服務將可提高人類和自然系統對氣候變遷和其他風險的韌性（例如在沿海環境中，濕地可以作為交通設施的緩衝區，並可大幅減少氣候變遷的影響）

White Paper:
Nature-Based Solutions
for Coastal Highway Resilience

U.S. Department of Transportation
Federal Highway Administration

美國運輸部聯邦公路管理局白皮書

3.3 調適策略檢討重點

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

自然為解方(Nature-based Solutions, NbS)國際發展趨勢

1. 2022 年 3 月 2 日聯合國環境大會通過 14 項決議：
決議5：支持可永續發展的以自然為本的解決方案 (Nature-based solutions, NbS)

- ***承認***需要對NbS這一概念作出經多邊協商的定義，該定義要認識到基於生態系統的辦法的概念並與之保持一致，且考慮到對NbS這一概念可能被濫用的關切
- NbS就是採取行動保護、養護、恢復、永續利用和管理自然或經改造的***陸地、淡水、沿海和海洋生態系統***
- 由聯合國環境規劃署根據現有的最佳科學知識，彙編NbS的最佳做法實例
- 在設計、執行和監測NbS時，採取國家主導、顧及性別平等、參與性和完全透明的辦法

2. IPCC氣候變遷第六次評估報告「衝擊、調適與脆弱度」，2022

Chapter 1 Point of Departure and Key Concepts.
Chapter 2 **Terrestrial and Freshwater Ecosystems and Their Services.**
Chapter 3 **Oceans and Coastal Ecosystems and Their Services.**
Chapter 4 **Water**
Chapter 5 Food, Fibre and Other **Ecosystem** Products
Chapter 6 **Cities, Settlements and Key Infrastructure**
Chapter 7 Health, Wellbeing and the Changing Structure of Communities
Chapter 8 Poverty, Livelihoods and Sustainable Development

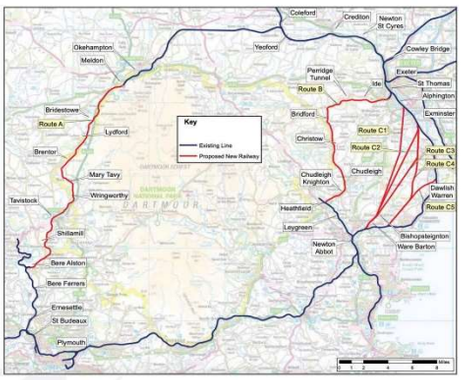
無運輸單元
6.3.4 Adaptation Through Nature-Based Solutions
6.3.5 Adaptation Through **Grey/Physical Infrastructure**
6.3.5.5 Transport

紅色字體代表該主題有NbS相關說明

3.4 運輸系統調適措施具體實務應用案例

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

措施1-2：迴避高風險潛勢地區，持續受損點位改線或廢線



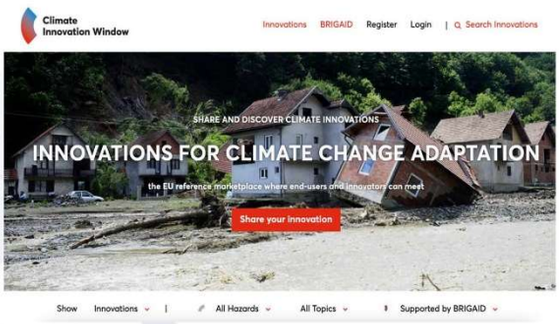
「西埃克塞特路線韌性研究」
（West of Exeter Route Resilience Study）

- 針對位於**英國埃克塞特**以西地區的鐵路路線進行的研究，旨在提高該路線在面臨不同災害和極端天氣事件時的韌性
- 2014年2月4日至5日的風暴期間對德文郡（Dawlish）沿海的南西主線鐵路造成的嚴重損害，以及隨後在2月14日至15日的另一場風暴中造成損害擴大
- 成立專案任務以檢討沿海路線的長期策略，此任務組成員包含英國運輸部、環境部、當地客運和貨運列車運營商，以及地方政府組織
- 該研究包含海平面上升預測、乘客需求、對社區和環境、社會和經濟因素的影響，以及加強檢查防浪牆工程。並以成本效益的角度評估5種戰略選項，包含：**保留既有路線或基準情境**、**加強既有路線**，以及**三種新替代路線**

3.4 運輸系統調適措施具體實務應用案例

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

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及跨領域的溝通協調合作，基於此特性，目前各相關單位間已建立聯繫機制與協調平台，以有效協調跨領域、跨部門與單位間的分工並整合資源
- 歐盟氣候創新窗口（The Climate Innovation Window）旨在成為氣候變遷調適創新的參考網站。使用者可以按**災害（沿海洪水、乾旱、熱浪、暴雨、河流洪水、風暴、野火和多重災害等）**和**主題（運輸、農業、災害和訊息通訊技術、能源、森林、河流、城市地區、水資源供應、水質、水安全等）**瀏覽數據資料庫。每個數據的成熟度皆透過技術成熟度水平（TRL）進行評估，各級別代表創新發展進展，數據庫中收納的案例包含從最初的想法（第1級）到產品在市場上的全面應用（第9級）

3.5 檢討後之調適策略措施

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

1 整合跨領域及跨層級工作

策略一 提升衝擊耐受力

措施	本計畫措施重點	原措施重點
4-4 強化氣候調適跨域整合推動與機制	■ 交通部 ●推動運輸系統氣候變遷調適整合推動平台與機制，鼓勵資料共享 ●評估運輸系統正常運作時所需其他非運輸單位（如能源機關、數位機關）資源。 ■ 設施管理機關（構） ●盤點極端天氣推估模擬科研單位國家情境下各種可能影響系統氣象因子之影響情境 ●盤點維持系統正常營運所需其他非運輸單位（如能源機關、數位機關）資源	■ 交通部 ●推動運輸系統氣候變遷調適整合推動平台與機制，鼓勵資料共享

3.5 檢討後之調適策略措施

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

2 綠色金融機制

策略四 增進決策支援力

措施	本計畫措施重點	原措施重點
4-1 建立調適計畫投資決策評估方法	■ 交通部 ●建立氣候變遷調適計畫成本效益評估方法並持續精進 ●規範調適計畫於預算申請時檢附計畫成本效益評估作佐證 ■ 設施管理機關（構） ●將氣候風險與機會納入營運策略 ●強化資金調度及取得，善用公共與公私合作夥伴關係，利用內部預算分配及私人部門資金，如贈款、擔保、股權、優惠性債務、市場債務與及保險等財務工具	■ 交通部 ●建立氣候變遷調適計畫成本效益評估方法並持續精進 ●規範調適計畫於預算申請時檢附計畫成本效益評估作佐證

3.5 檢討後之調適策略措施

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

3 人才培育

策略四 增進決策支援力

措施	本計畫措施重點	原措施重點
4-5 培育氣候變遷風險管理與調適專業人才性	■ 交通部 ●規劃調適相關專業課程，辦理教育訓練 ■ 設施管理機關（構） ●辦理運輸系統氣候變遷調適議題國內與國際研討 ●建立氣候變遷調適人才培訓制度（可分階段培訓） ●視需要成立氣候變遷調適專責單位 ●規劃機關（構）內調適相關專業課程，辦理教育訓練	■ 設施管理機關（構） ●辦理運輸系統氣候變遷調適議題國內與國際研討 ●建立氣候變遷調適人才培訓制度（可分階段培訓） ●視需要成立氣候變遷調適專責單位

3.5 檢討後之調適策略措施

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

4 脆弱群體、社區及原住民族為本

策略四 增進決策支援力

措施	本計畫措施重點	原措施重點
4-6 調適計畫與利害關係人溝通或合作	■ 設施管理機關（構） ●辨識利害關係人，且應確認納入脆弱群體 ●政策及措施應融入綜合性與以社區為本，在原住民保留地需以原住民族為本 ●建立雙向風險溝通與資訊教育之機制 ●建立利害關係人可合作調適計畫的不同機制	■ 設施管理機關（構） ●辨識利害關係人並建立雙向風險溝通與資訊教育之機制 ●建立利害關係人可合作調適計畫的不同機制

3.5 檢討後之調適策略措施

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

5 自然為解方

策略一 提升衝擊耐受力

措施	本計畫措施重點	原措施重點
1-3 檢討並將氣候調適概念納入規範或作業程序	■ 設施管理機關（構） ●應了解自然為本理念 ●檢討並提高設施抗氣候變遷環境標準 ●將風險分析及氣候變遷模擬結果納入規劃、設計、施工及養護相關規範、作業流程或手冊中考量運輸研究所 ■ 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	■ 設施管理機關（構） ●檢討並提高設施抗氣候變遷環境標準 ●將風險分析及氣候變遷模擬結果納入規劃、設計、施工及養護相關規範、作業流程或手冊中考量運輸研究所 ■ 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

我國策略措施與國際對應

3.5 檢討後之調適策略措施

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

策略	措施	IPCC AR6	COP 27	法國	德國	倫敦	美國	其他
策略一：提升衝擊耐受力	1-1建立設施安全性與風險評估方法		✓	✓	✓		✓	
	1-2迴避高風險潛勢地區持續受損點位改、廢線							G1
	1-3檢討並將氣候調適概念納入規範或作業程序	✓		✓			✓	
	1-4運用或研發新科技、材料、工程工法或設備		✓	✓		✓	✓	
	1-5強化跨運輸系統的運輸連結性					✓		
策略二：強化預警應變力	2-1建構跨運輸系統預警應變網絡					✓		
	2-2檢討並調整氣候變遷環境下之風險監測機制							G2
策略三：提高系統回復力	3-1建立分階段復建原則							G2
	3-2建立運輸系統設施的內部與外部備援方案					✓		
策略四：增進決策支援力	4-1建立調適計畫投資決策評估方法	✓	✓			✓	✓	
	4-2建立調適計畫監控與滾動檢討機制	✓						
	4-3建置或應用風險管理與調適所需資料庫及工具			✓	✓		✓	
	4-4強化氣候調適跨域整合推動與機制			✓	✓	✓	✓	
	4-5培育氣候變遷風險管理與調適專業人才	✓		✓			✓	
	4-6調適計畫與利害關係人溝通或合作	✓				✓	✓	

G1：West of exeter route resilience study
G2：美國聯邦公路管理局運輸資產管理對氣候變遷和極端天氣的能力(2023)

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

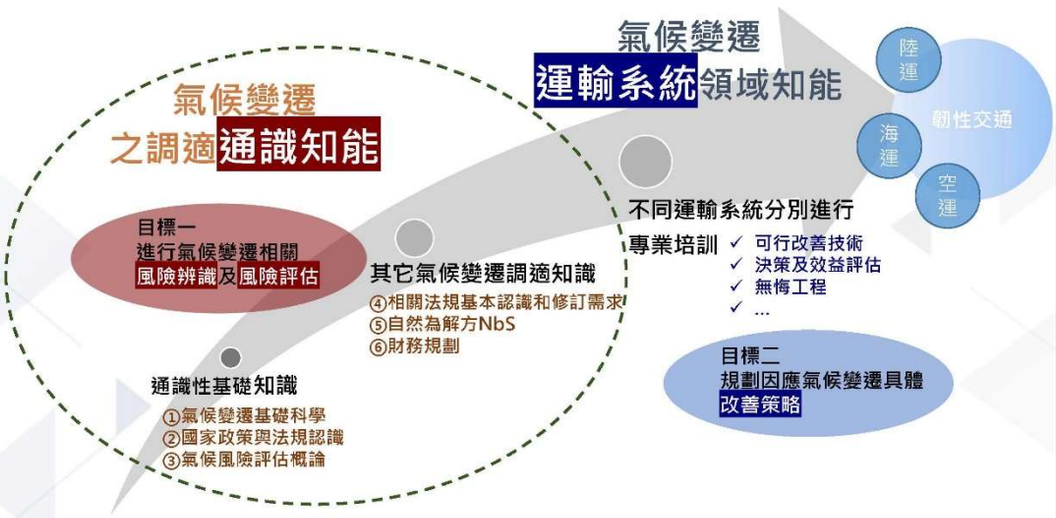
4 探討運輸設施權管機關(構)應具備之調適能力



4.1 運輸權管機關(構)調適專業能力框架
4.2 氣候變遷之調適通識知能
4.3 氣候變遷調適運輸系統領域知能

4.1 運輸權管機關(構)調適專業能力框架

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC



4.2 氣候變遷之調適通識知能

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

①氣候變遷基礎科學 ②國家政策與法規認識 ③氣候風險評估概論

基礎氣候變遷調適常識層級知能

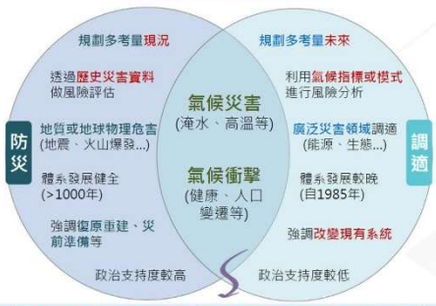
國科會新版「國家氣候變遷科學報告」
- 以IPCC AR6為基礎
- 考慮面向
  - (一) 面臨的關鍵問題
  - (二) 目前現況風險
  - (三) 氣候變遷下未來可能面臨的風險
  - (四) 面對未來問題可能之調適選項
  - (五) 探討動調適措施可能之挑戰

專有名詞

「氣候變遷專有名詞手冊」
- 以氣候變遷相關議題為範疇
- 提供一致性的國際專有名詞定義、內涵與認知



防災與調適的分野



許多以災害為出發點的調適計畫多落於此區，與減災作為有相當程度的重複性，時常難以區分

資料來源: NCDR

4.2 氣候變遷之調適通識知能

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

①氣候變遷基礎科學 **②國家政策與法規認識** ③氣候風險評估概論

112年2月15日 總統公布**氣候變遷因應法**施行

第一章 總則	第二章 政府機關權責	第三章 氣候變遷調適	第四章 減量對策	第五章 教育宣導及獎勵	第六、七章 罰則 附則
•修正2050減量目標為淨零排放(§4) •強化原住民族參與氣候變遷事務(§5)	•行政院國家永續發展委員會協調整合跨部會事務(§8) •強化綱領計畫方案及管考，並對外公開(§9、§11~ 12、 §15)	•氣候變遷調適能力建構(§17) •氣候變遷科學報告與風險評估作業(§18) •國家氣候變遷調適行動方案、計畫(§19~20)	•盤查及查驗分級管理(§21-22) •產品、車輛效能標準、新建築減緩溫室氣體排放之規定(§23) •新設排放源增量抵換(§24) •減量額度取得與使用(§25~27) •碳費徵收與支用(§28~30、§32~33) •因應國際碳關稅(§31) •碳足跡核算與標示(§37) •高溫暖化潛勢溫室氣體管理(§38) •二氧化碳捕捉利用及封存(§39) •檢驗測定機構許可(§41)	•強化因應氣候變遷專業人才教育與培育(§42) •低碳飲食推動(§42) •國家公正轉型行動計畫(§46)	•配合新增之管制政策增訂相應之罰則(§47~55) •裁罰準則(§59) •逾期繳納應加徵滯納金、加計利息(§60) •增訂相關規費之收費標準(§61)

氣候變遷調適專章

第17條 能力建構	第18條 科研接軌	第19條 公眾參與	20條 因地制宜

4.2 氣候變遷之調適通識知能

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

①氣候變遷基礎科學 ②國家政策與法規認識 **③氣候風險評估概論**

壹、辨識氣候風險與調適缺口



1. **確定風險評估的範圍和目標**
   包括評估的時間範圍和地理範圍，以及評估的目的和使用者。

2. **收集氣候變遷和影響的相關資料和科學資料**
   如氣象資料、溫室氣體排放數據、地形圖、生態系統結構、人口數據等

3. **評估氣候變遷對環境、社會、經濟和文化方面的影響**
   包括極端氣象事件、海平面上升、水資源供應、生物多樣性、健康和社會福祉等方面。

4. **進行風險評估**
   包括評估不同影響因素的可能性和影響程度，以及評估不同部門、社區和產業的風險敏感性和容忍度

5. **評估若實施調適措施的可能效果**
   包括評估不同調適措施的成本效益、可行性和潛在的負面影響，以及評估調適措施的實施和維護成本

6. **進行風險溝通和共識建立**
   包括與各方利益相關者進行討論和溝通，並為各方利益相關者提供關於氣候變遷風險和調適措施的教育和訓練

7. **定期監測和評估風險評估的結果**
   在需要時進行調整和更新。

➔辨識對交通設施造成潛在衝擊之氣候變遷危害因子

4.2 氣候變遷之調適通識知能

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

其它：④相關法規基本認識和修訂需求 ⑤自然為解方NbS ⑥財務規劃



國際法規範例

- 歐盟環境影響評估指令(Directive 2014/52/EU)
  根據該指令，開發單位在選址時必須注意「因根據科學知識判斷，氣候變遷可能會造成的相關的重大事故或災難的風險」
- 美國加州公共資源法(PART 3.7. Climate Change and Climate Adaptation [71150 - 71155])
  2016 年修訂後的法案要求加州政府「在規劃、設計、建設、運營、維護和投資國家基礎設施時，必須考慮氣候變化對當前和未來的影響」

我國法規範例

- 氣候變遷因應法
- 交通部組織法
- 交通部鐵道局組織法

- 檢討與運輸設施規劃、建設及運營之法規修訂需求

4.2 氣候變遷之調適通識知能

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

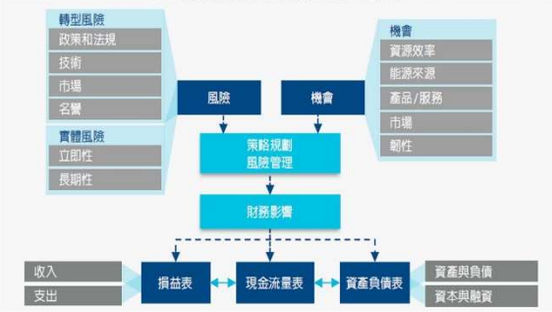
其它：④相關法規基本認識和修訂需求 ⑤自然為解方NbS ⑥財務規劃

瞭解以自然為解方的工程概念



具備工程財務規劃的概念

1. 氣候相關財務揭露
2. 利用保險或其他金融措施達到調適需求
3. 氣候風險項目預算經費獨立



4.3 氣候變遷調適運輸系統領域知能

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

公路 鐵路 空運 海運





數據分析
案例收集

分析極端天氣對運輸系統可能造成影響

運輸設施規劃　運輸科技發展

港灣及鐵公路技術發展　海空運發展策略

運輸安全系統　運輸經營管理

永續運輸發展

衝擊、脆弱度與風險評估

辨識系統調適需求

措施調整納入調適規劃

4.3 氣候變遷調適運輸系統領域知能

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

公路系統



1. **建立安全性與風險評估方法學**：在整體路網規劃時，納入脆弱度、氣候**風險**衝擊之評估
2. **整合預報資訊以調整預警系統**：了解防減災和調適的區別，結合預報資訊，調整現有預警系統，更新危害地圖，確保重要設施之道路通暢
3. **辨認公路交通的脆弱群體**：規劃平等的韌性交通
4. **運用先進材料與工法**：在道路設計和建設中，了解先進的材料，考慮在極端天氣衝擊下更耐用或環境友善的設施。了解軟性、綠色和灰色工法的應用案例
5. **建立跨運輸系統的運輸連結**：了解如何建立跨運輸系統的運輸連結關係地圖與策略，並加強跨域交流

1. **建立安全性與風險評估方法學**： 以在整體運營規劃中納入脆弱度和氣候風險的評估，需納入電力供應及通訊設施
2. **整合預報資訊以調整預警系統**：了解防減災和調適的區別，調整現有預警系統和防災措施，改善危害通訊流程
3. **繪製脆弱度地圖及危害地圖**： 繪製鐵路基礎設施和軌道的脆弱度地圖，提供使用者危害地圖，制定災害應變計畫
4. **改進軌道、供電系統和車輛設計**：了解軌道和車輛的調適韌性，引入軌道、供電系統和車輛的改良設計
5. **建立跨運輸系統的運輸連結關係地圖**： 與相關單位合作制定應對極端事件的應變計畫
6. **進行生命週期成本分析**： 進行軌道系統資產的替換規劃，優先考慮針對脆弱度高的資產

軌道系統

4.3 氣候變遷調適運輸系統領域知能

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

港埠設施

1. **建立安全性與風險評估方法學**：在檢討及更新港口整體營運持續計畫時納入氣候風險評估
2. **整合預報資訊以調整建設**：結合預報資訊，調整原有的堤防和防波堤建設，以應對風暴引起的海浪和海平面上升，特別是高潮的威脅
3. **更新國際安全標準**： 了解因應氣變災害下國際港口安全標準的更新，確保船舶在惡劣天氣條件下也能夠可以安全進出港口
4. **乾旱因應對策**： 了解在乾旱狀況下，港口運營和活動的因應對策，以確保水源供應和港口正常運轉。
5. **建立跨運輸系統的運輸連結關係地圖**：研擬應對極端事件的應變計畫，製作危害地圖，強化地方政府及鄰近社區的應變能力
6. **生命週期成本分析**：規劃港口更新開發時程，確保港埠設施的長期穩定發展



機場設施



1. **建立機場運作安全性與風險評估方法學**： 在檢討整體設施及航空交通管制流程規劃時，納入氣候風險的評估
2. **整合預報資訊以調整管理**：了解防減災和調適的區別，並結合預報資訊，以了解氣候變遷對風速風向、極端溫度、降水型態等的改變趨勢，對飛行操作、安全起降、跑道和停機坪的可能影響及相應的因應措施
3. **更新交通管制程序**： 了解氣候變遷下可能發生的極端天氣事件，並在緊急飛行計畫中更新交通管制程序
4. **調整機場跑道及周邊設施**： 了解在氣候變遷下災害的可能影響，並了解如何整建機場跑道，針對跑道長度、方向及週邊設施進行必要的調整
5. **制定機場緊急應變計畫及危害地圖**：應包含基礎服務提供，如休息、餐飲、通訊等
6. **確保機場聯外大眾運輸系統暢通**： 透過跨交通運輸合作，確保多樣化的機場聯外大眾運輸系統暢通

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

5 規劃氣候變遷調適專業知識課程



5.1 問卷調查及深度訪談
5.2 諮詢專家學者意見
5.3 運輸系統變遷調適課程需求綜合評估
5.4 「運輸系統因應氣候變遷調適」課程
5.5 辦理運輸調適專業知識教育訓練

5.1 問卷調查及深度訪談

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

● 執行問卷調查及深度訪談之目標

1. 盤點運輸設施權管機關(構)人員調適專業知能之缺口。
2. 調查各機關(構)人員對調適專業知識之需求性及優先性。
3. 將調查問卷與深入訪談結果作為課程規劃參考基礎。

● 工作方法

1. 問卷調查：
   了解盤點運輸設施權管機關(構)人員對一般氣候變遷素養的理解，以及其對運輸相關的氣候風險掌握
2. 深度訪談：
   以問卷結果為基礎，針對專業知能缺口、專業知識之需求性及優先性以及課程規劃建議此三面向，進行深入訪談

5.1 問卷調查及深度訪談

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

一、問卷目的

1. 對一般氣候變遷素養的理解
2. 對運輸相關的氣候風險掌握
3. 對氣候變遷課程之需求性及優先性
4. 優先授課對象及其課程需求

二、問卷調查規劃流程



5.1 問卷調查及深度訪談

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

三、問卷回收結果

問卷回收結果

- 問卷回收率100%
- 發放200份，實收200份

填卷者身份

- **年齡分佈**：30-60歲各區段年齡填卷份數**分佈平均**介於 18%-30%
- **任職運輸系統**：公路 51份、鐵路 59份、航空 24份 港務 32份、觀光 20份 交通部與運研所 14份
- **職務性質**：32名主管、168名非主管

填卷者與氣候變遷調適的連結性

- 20.5% 負責或辦理過氣候變遷調適相關業務
- 23.5% 曾上過氣候變遷調適相關課程

認知背景

- 過半數認為其對氣候變遷調適掌握度有限
- 過半數認為氣候變遷或極端天氣事件對所轄運輸設施所帶來的**衝擊重大**

知識

- 平均分數5.6分，上過課者均分 6.9分，辦理過相關業務者 6.8分
- 氣候變遷基礎知識掌握度相較運輸相關的氣候風險掌握度高
- 對台灣的氣遷變遷政策相較其在調適策略與國際議題之掌握度相對高

氣候變遷課程需求及對象

- **最能從課程中受益之部門 / 業務職掌同仁：**
  運輸規劃/設計、工程/施工、設施營運、工務養護、環境安全衛生
- **課程需求：**
  調適新知與案例、氣候變遷衝擊與情境資訊、氣候變遷風險評估方法

5.1 問卷調查及深度訪談

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

四、問卷結果分析

01 運輸單位工作人員對於「氣候變遷調適」已有認知，但不瞭解在運輸方面的應用內涵及作法，具備學習氣候變遷調適的潛在需求（動機與意願）

02 高需求性及優先性的課程為「調適新知與案例」、「氣候變遷衝擊與情境資訊」、「氣候變遷風險評估方法」，且具分眾一致性

03 優先授課對象為運輸規劃/設計、工程/施工、設施營運、工務養護、環境安全衛生等業務職掌人員，此看法具分眾一致性

主責氣候變遷調適相關業務之主管職人員有12名，其中僅4名上過相關課程，故建議可優先請主責氣候變遷調適業務主管參與課程，此結果呼應有填答者於建議欄位表示，總工程司室、主管決策層、財務等人員，也應作為優先授課對象

04 「有/無上過課程」、「有/無辦理相關業務」對於填答者的氣候變遷調適知識有明顯影響（「有」較「無」者得分高），除觀光機關得分偏低外，其他變因影響不大

五、深度訪談

5.1 問卷調查及深度訪談

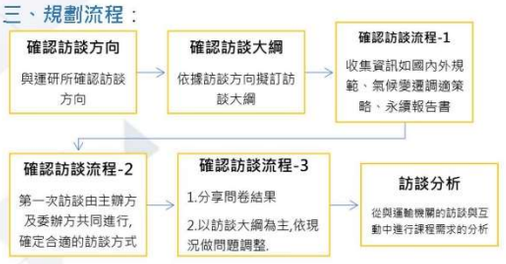
交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

一、對象：運輸機關(構)**調適案承辦人員及主管**

二、辦理方式：交通運輸設施相關部屬設施機關(構)，進行至少1次之深度訪談

① 公路：公路局、高速公路局
② 鐵路：鐵道局、臺灣鐵路局、高鐵公司
③ 航空：民航局、桃園機場公司
④ 港務：航港局、臺灣港務股份有限公司
⑤ 其他單位：觀光署、氣象署

三、規劃流程：



四、訪談主題

(一)、對氣候變遷的掌握度

了解受訪者對氣候變遷基礎科學、國家政策與法規（如對國家兩階段調適框架的理解）、氣候變遷風險評估的認識

(二)、工作職掌與氣候變遷的關聯

了解受訪者對運輸系統之氣候風險以及因應該氣候風險的調適策略的認識，如國家調適能力建構政策與業務關連性

(三)、通識與專業知識之需求性及優先性

了解受訪者對氣候變遷基礎知識及與其專業知識之需求性及優先性，像是各運輸系統(公路系統、軌道系統、港埠設施、機場設施)可能氣候災害、氣候變遷因應法與轄管相關業務法規之連結或調整、瞭解以自然為解方NbS的工程概念、工程財務規劃概念

(四)、課程規劃建議

詢問受訪者過往參與氣候變遷培訓的學習經驗，請其給予課程內容、課程形式的建議

六、訪談結果

5.1 問卷調查及深度訪談

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

六 訪談結果

調適專業知能缺口

- 整體而言，運輸設施權管機關人員對氣候變遷調適知能處於**初期階段**
- 因陸、海、空所受**國際規範**不同，影響其在氣候變遷調適領域的知能表現
- **航空**運輸設施權管機關人員在此領域的掌握度最高

調適課程需求與課程建議

- **規劃課程內容前**：應先設計授課對象的**「學習動機」**與**「學習誘因」**

→ 如法規、政策、規範、績效指標要求將氣候變遷調適融入工作項目，或結合公務員學習時數、證照制度

- **課程內容**：應引導授課對象看見該**課程與其業務間的關聯**，使其明白該課程的重要性，並**指引其尋找相對應的解決策略**

→ 專業課程應提供具體的操作技術，進行國際案例解析時，探討在臺灣如何在地化執行

- **課程結束後**：應有**相對應的實作機會**，例如議題主導的專題工作坊，以及與課程同步的**工程設計規範**，後者，是讓各運輸設施權管機關人員能否學以致用的關鍵

5.1 問卷調查及深度訪談

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

七、綜合問卷與訪談

✓各運輸系統的調適知能現況看似不一，**大部分運輸系統同仁、高階主管的認知相對模糊** ✓氣候變遷調適基礎課程為各運輸其統的需求重點，**建立對氣候變遷調適的基本概念及實務工作方法**	✓強調形塑**「動機」**的重要性 ✓基礎課程：「氣候變遷調適」相關**法規、國家政策的管制重點**、**調適作為及未來趨勢**，透過**實例**更可體會及了解重要性 ✓進階課程：探討本領域**重要主題及方法論**(如風險評估)、解析**國際案例**	✓**治理及管理階層**的意識提升與資源支持舉足輕重，中高層主管以**概念建構**為主，**執行技術可由主管偕承辦參與** ✓課程形式、講師人才庫（專業領域）應**盡可能多元** ✓**運研所協助**：在初期（現階段）擔任課程辦理的主導角色
運輸機關調適知能現況盤點、氣候變遷調適基礎課程為需求重點	**課程規劃原則、基礎與進階課程主題**	**優先授課對象、課程辦理形式及推動策略**

5.2 諮詢專家學者意見

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

課程諮詢意見

1. **鄭永祥教授**(氣候變遷調適專業融入補充教材-維生基礎設施(交通系統)領域編撰者)：
   1) 課程設計尚屬允當，建議部分課程如邊坡穩定、土石流沖刷、隧道等可跨系統一起規劃
   2) 軌道運輸系統需考慮的包括氣候、車輛、軌道、人員等方向的議題
   3) 各國氣候條件差異大，國外下雪造成溫差大，**國內規範須針對本地調整**，但應留意台灣雖溫差較小，高濕度可能影響維修週期等問題
   4) 將在運輸年會提出**TCFD議題，推動公部門實施**
   5) 推薦軌道系統調適課程可請鄭永祥、賴勇成、鍾志成，公路系統吳昆峯、劉霈、胡大瀛，三位教授協助
2. **陳文宇教授**(氣候變遷調適專業融入補充教材-維生基礎設施(交通系統)領域審閱)：
   1) 建議參考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
   2) 課程設計適當，建議參考大學製作**課程地圖**
3. **張瀞之教授**(氣候變遷調適專業融入補充教材-維生基礎設施(交通系統)領域編撰者)：
   1) 對課程設計無特別建議事項
   2) 海運受極端氣候影響程度大，將協助洽詢海運全險是否涵蓋氣候險
   3) 將協助推薦海運系統調適課程講師

5.3 運輸系統變遷調適課程需求綜合評估

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

歸納問卷調查、深度訪談各運輸單位之調適素養、缺口、對課程建議與需求，並參考國外調適課程、專家意見後對調適課程綜合結論如下：

1. 調適素養、缺口：氣候變遷因應法今年剛公告施行，一般對氣候變遷有基本了解，但對「調適」多仍相對陌生。對法規條文及規範事項瞭解程度不高，建議調適課程應從**基礎課程**完整設計
2. 課程建議與需求事項：
   （1）基礎課程的主題
   「氣候變遷調適」相關法規（如氣候變遷因應法）、指引（如環境部制訂中之風險評估指引）的內容，氣象署、NCDR所提供的資源等
   （2）盡量以實際案例講解
   （3）兩階段框架
   國內、外均分風險評估、調適規劃兩階段實施，應優先安排執行風險評估所需課程
   （4）分階段需求
   研擬策略、規劃施工與維運各階段所需調適工作不同，可分別授課

5.4「運輸系統因應氣候變遷調適」課程

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

1. 調適基礎課程

A1.高階人員調適綜合課程
A2.氣候變遷及氣候災害(112) (基礎科學)
A3.國家法規與政策(112) (氣候變遷因應法、第三期行動計畫兩階段框架)
A4.自然解方(NbS)概念(112)
A5.氣候變遷風險評估概論(112)
A6.氣候風險決策參考資訊
A7.運輸法規與調適

2. 調適進階課程

B1. 氣象資料解讀及取得
B2. 氣候變遷風險評估準則及執行程序
B2-1. 風險評估作業前準備
B2-2. 風險評估範疇界定
B2-3. 脆弱度分析(敏感度、暴露評估、風險矩陣)
B2-4. 執行風險評估
B3. 各階段工作融入調適措施時機與要點
B3-1. 策略階段調適融入項目與時機
B3-2. 規劃、設計階段調適融入項目與時機
B3-3. 維運階段調適融入項目與時機
B4. 面對高度不確定性之決策方法
B5. 調適指引範例
B6. 調適案例分享 (從範疇界定、盤點、評估、溝通到調適規劃執行)
B7. TCFD

*紅色為112年執行訓練
*金色為進階課程

3. 各運輸系統專業課程

- 公路系統調適專業課程（衝擊特性、脆弱度評估、調適案例）
- 軌道系統調適專業課程（衝擊特性、脆弱度評估、調適案例）
- 港埠系統調適專業課程（衝擊特性、脆弱度評估、調適案例）
- 機場系統調適專業課程（衝擊特性、脆弱度評估、調適案例）

5.4「運輸系統因應氣候變遷調適」課程

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

課程名稱	課綱	時數	師資
A. 調適基礎課程		20	
A1. 高階人員調適綜合課程	調適綜合知識理念課程	3	許晃雄、徐旭誠、童慶彬
A2. 氣候變遷及氣候災害	基礎科學(含原因、現象、特徵、災害)	3	許晃雄、徐佩君、曾琬鈴、周仲島
A3. 國家法規與政策	氣候變遷因應法、兩階段框架	3	徐旭誠、葉信君、何文淵
A4. 自然解方(NbS)概念	自然解方準則、應用及限制	3	李玲玲、廖桂賢、黃于玻
A5. 氣候變遷風險評估概論	風險評估簡介	3	陳永明、李欣輯
A6. 氣候風險決策參考資訊	國家科學報告、AR6報告解讀與應用	3	趙家緯、李欣輯
A7. 運輸法規與調適	因應調適之法令與規範調整及國外範例	2	張文貞、葉俊
B. 調適進階課程		21(+27)	
B1. 氣象資料解讀及取得	歷史氣候基線、降尺度、測站與資料格式、氣象變異度	3	洪景山、陳孟詩
B2.氣候變遷風險評估準則及執行程序	風險評估準則、評估工具	3	陳永明、李欣輯、童慶彬
B2-1. 風險評估作業前準備	高階承諾、專家、參與人員、執行時程	3	陳永明、李欣輯、童慶彬
B2-2. 風險評估範疇界定	定義組織與地理邊界	3	陳永明、李欣輯、童慶彬
B2-3. 脆弱度分析	選擇評估方法、決定評估資產	6	陳永明、李欣輯、童慶彬
B2-4. 執行風險評估	撰寫評估報告、利害關係人溝通	3	陳永明、李欣輯、童慶彬

5.4「運輸系統因應氣候變遷調適」課程

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

課程名稱	課綱	時數	師資
B3. 融入調適措施時機與要點	策略、規劃、設計、施工、維運等階段融入調適措施時機	3	徐旭誠、王筱雯
B3-1. 策略階段調適融入項目與時機	-	3	徐旭誠、王筱雯
B3-2. 規劃、設計階段調適融入項目與時機	-	3	徐旭誠、王筱雯
B3-3. 維運階段調適融入項目與時機	-	3	徐旭誠、王筱雯
B4. 面對高度不確定性之決策方法	無悔或低悔策略、情境規劃、調適路徑及穩健決策	3	陳亮全、童慶斌、洪啟東
B5. 調適指引範例	公路系統規劃階段調適指引操作	3	吳清如、鼎漢團隊
B6. 調適案例分享 (1)	從範疇界定、盤點、評估、溝通到調適規劃執行	3	王筱雯、劉奇璋、李玲玲
B6. 調適案例分享 (2)	公路系統規劃階段調適指引操作案例	3	吳清如、鼎漢團隊
B7. 氣候財務風險揭露(TCFD)	氣候變遷風險與機會、四大核心要素	3	蔡易廷、郭士筠

5.4「運輸系統因應氣候變遷調適」課程

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

課程名稱	課綱	時數	師資
C.各運輸系統專業課程(分公路、軌道、港埠、機場4類)		4 × 12	
C1-1. 公路系統衝擊特性	路面、橋梁、邊坡、場站設施營運等	3	吳昆峯、劉霈、胡大瀛
C1-2. 公路系統脆弱度評估	路面、橋梁、邊坡、場站設施營運等	3	吳昆峯、劉霈、胡大瀛
C1-3. 公路系統調適案例	國內、外公路運輸系統調適案例	3	吳昆峯、劉霈、胡大瀛
C2-1. 軌道系統衝擊特性	軌道、橋梁、邊坡、場站設施營運等	3	鄭永祥、賴勇成、鍾志成
C2-2. 軌道系統脆弱度評估	軌道、橋梁、邊坡港口基礎設施	3	鄭永祥、賴勇成、鍾志成
C2-3. 軌道系統調適案例	國內、外鐵路運輸系統調適案例	3	鄭永祥、賴勇成、鍾志成
C3-1. 港埠系統衝擊特性	港口基礎設施、導航、場站設施營運等	3	楊鈺池、張瀞之、林泰誠
C3-2. 港埠系統脆弱度評估	港口基礎設施、導航、場站設施營運等	3	楊鈺池、張瀞之、林泰誠
C3-3. 港埠系統調適案例	國內、外海運運輸系統調適案例	3	楊鈺池、張瀞之、林泰誠
C4-1. 機場系統衝擊特性	跑道、導航、場站設施營運等	3	盧曉櫻、詹士樑
C4-2. 機場系統脆弱度評估	跑道、導航、場站設施營運等	3	盧曉櫻、詹士樑
C4-3. 機場系統調適案例	國內、外航空運輸系統調適案例	3	盧曉櫻、詹士樑

5.4「運輸系統因應氣候變遷調適」課程

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

課程地圖(公路系統為例)

課程名稱	時數	先修課程	高階主管	規劃、設計人員	維運人員	財務人員
A1. 高階人員調適綜合課程	3		✓			
A2. 氣候變遷及氣候災害	3			✓	✓	
A3. 國家法規與政策	3			✓	✓	✓
A4. 自然解方(NbS)概念	3			✓	✓	
A5. 氣候變遷風險評估概論	3			✓	✓	
A6. 氣候風險決策參考資訊	3			✓		
A7. 運輸法規與調適	2	A3		✓	✓	
B1. 氣象資料解讀及取得	3			✓	✓	
B2. 氣候變遷風險評估準則及執行程序	3			✓	✓	
B2-1. 風險評估作業前準備	3	A3、A4、B1、B2		✓		
B2-2. 風險評估範疇界定	3	A3、A4、B1、B2		✓	✓	
B2-3. 脆弱度分析	6	A3、A4、B1、B2			✓	
B2-4. 執行風險評估	3	A3、A4、B1、B2		✓	✓	
B3. 融入調適措施時機與要點	3	B2		✓	✓	
B3-1. 策略階段調適融入項目與時機	3	B2、B3		✓		
B3-2. 規劃、設計階段調適融入項目與時機	3	B2、B3		✓		
B3-3. 維運階段調適融入項目與時機	3	B2、B3			✓	
B4. 面對高度不確定性之決策方法	3	A3、B2、B3		✓		
B5. 公路系統調適指引	3	A3、B2、B3		✓		
B6. 調適案例分享 (1)(2)	6	A3、B2、B3、B6		✓	✓	
B7. 氣候財務風險揭露(TCFD) 非公司組織無需上課	3	A3、B2、B3		✓		✓
C1-1. 公路系統衝擊特性	3	A3、B2、B3、B6		✓	✓	
C1-2. 公路系統脆弱度評估	3	A3、B2、B3、B6		✓	✓	
C1-3. 公路運輸系統調適案例	3	A3、B2、B3、B6		✓	✓	

5.5 辦理運輸調適專業知識教育訓練

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

日期：112年10月27日星期五
地點：觀光署旅遊服務中心會議室

時間	課程名稱	課程大綱	講師
9:00-12:00	氣候變遷及氣候災害	1. 氣候變遷基礎科學 2. 氣候災害及其運輸系統影響	中興大學 循環經濟研究學院 徐佩君博士
13:20-16:20	氣候變遷風險評估概論	1. 調適與防災差異 2. 氣候變遷風險評估概論 3. 風險評估準則	國家災害防救科技中心李欣芸博士

日期：112年11月13日星期一
地點： 集思台大會議中心尼采廳

時間	課程名稱	課程大綱	講師
9:00-12:00	自然解方(NbS)概念	1. NbS 的定義與基本理念 2. NbS 推動策略與效益評估 3. NbS 評估指標	觀察家 生態顧問有限公司 黃于玻 總經理
13:20-16:20	國家法規與政策	1. 氣候變遷因應法及相關法規 2. 國家調適行動推動架構 3. 目的事業主管機關權責	環境部 徐旭誠技監







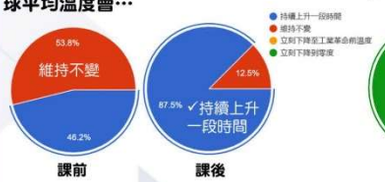
5.5 辦理運輸調適專業知識教育訓練

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

課程評量

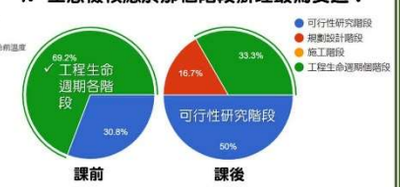
上課**前後**以相同題目由學員填寫評量
大部分課前已有基礎概念，對於較深入的問題...

13. 假如人類立刻停止溫室氣體排放，全球平均溫度會…



課後選出正確答案的比例多有提升！

7. 生態檢核應於那個階段辦理最為妥適？



亦少數觀念會混淆，需要更清楚說明

認知調查

目前「氣候變遷調適」操作最大困難
1. 不知從何開始進行
2. 缺乏風險評估技術/工具

那些未來氣候的分析資訊對您的業務有幫助？
1. 未來降雨變化(總雨量、降雨強度)
2. 未來颱風趨勢變化(數量、強度、路徑)

那些風險評估工具對您的業務有幫助?
1. 未來氣候變遷風險地圖(危害圖、脆弱圖、衝擊圖等)
2. 風險分析案例

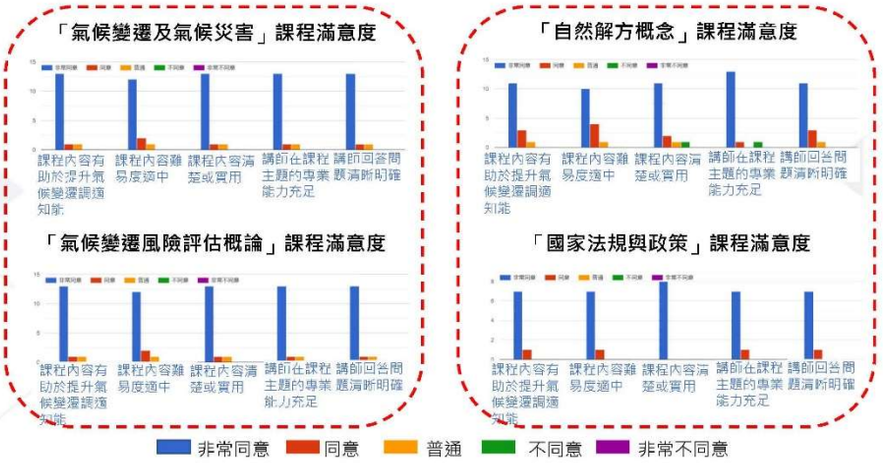
5.5 辦理運輸調適專業知識教育訓練

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

滿意度調查

10/27第一場次整體滿意度93%

11/13第二場次整體滿意度93%



交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

6 結論與建議



6.1 結論

6.2 建議

6.1 結論

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

運輸系統調適策略措施

在既有運輸系統調適策略措施增列整合跨領域及跨層級工作、綠色金融機制、人才培育、脆弱群體、社區及原住民族為本、以自然為本的解決方案之措施重點

運輸權管機關(構)應具備之調適專業能力

- 通識型知能：我國調適框架、氣候變遷基礎科學、國家政策與法規認識、風險評估概論
- 各運輸系統專業領域知能

運輸系統因應氣候變遷調適課程

根據應具備之專業能力、能力缺口調查、諮詢專家意見及參考國內外課程後，規劃整體課程包括調適通識課程6門課程，調適共同課程15門課程，各運輸系統專業課程12門課程

6.2 建議

交通部運輸研究所 Institute of Transportation, MOTC

提升運輸權管機關(構)人員調適專業能力

- 優先加強提升高階主管對調適認知，由上向下推動整合協調相關單位共同推動調適工作
- 除派員參加國內調適教育訓練課程外，建議遴派人員出國參訪觀摩，學習並吸收國外調適工作的細節和實施經驗

編列或區分氣候變遷調適相關預算名目

預算是執行各項工作的基本資源：據歐盟估計，氣候變遷相關模組通常會使評估成本增加 1～10%。氣候變遷情境具有高度不確定，建議應多方案審慎評估，以便投入相關調適預算

氣候變遷調適課程及實施方式

部分進階專業課程目前國內可能尚無具實際經驗講師，建議安排在完成共同課程後下階段再授課，並以工作坊方式邀請不限一位相關領域專家參加，集思廣益共同研商訂定我國執行方法


交通部運輸研究所
Institute of Transportation, MOTC
簡報結束
敬請指教