

運輸部門因應 氣候變遷調適與防災

2020運輸政策白皮書



目次

壹. 緒論.....	1	參. 課題篇.....	60
一、目的.....	1	一、公路系統.....	60
二、範疇.....	4	1. 課題 01：因應大規模、複合性災害機率增高，公路應強化風險管理機制.....	60
三、架構.....	8	2. 課題 02：因應氣候變遷影響，應評估與調整災前整備之內容.....	60
貳. 背景篇.....	9	3. 課題 03：針對複合型災害發生機率增加，強化跨單位調適及聯防能力.....	60
一、公路系統.....	9	4. 課題 04：為掌握極端氣候，防災預警資訊準確度提升及系統技術應精進檢討.....	60
(一) 背景分析.....	9	5. 課題 05：為掌握防災預警資訊傳達時效，應利用科技強化防災預警資訊傳達.....	61
(二) 國外調適與防災策略概況.....	11	6. 課題 06：極端氣候災害強度提升，應利用科技更新及強化設備、措施及技術.....	61
(三) 國內調適與防災策略概況.....	14	7. 課題 07：為加強防救災人員劇烈天氣之認知，應強化培育調適及防救災人才並經驗傳承.....	61
二、鐵道系統.....	23	二、鐵道系統.....	62
(一) 背景分析.....	23	1. 課題 01：因應極端氣候所致之災害，應強化風險管理機制.....	62
(二) 國外調適與防災策略概況.....	23	2. 課題 02：針對氣候變遷之影響，應強化災前整備作業.....	62
(三) 國內調適與防災策略概況.....	26		
三、商港系統.....	31		
(一) 背景分析.....	31		
(二) 國外調適與防災策略概況.....	33		
(三) 國內調適與防災策略概況.....	37		
四、機場系統.....	45		
(一) 背景分析.....	45		
(二) 國外調適與防災策略概況.....	48		
(三) 國內調適與防災策略概況.....	53		

3. 課題 03：因應複合型災害發生機率增加，應強化跨領域調適與防災整備	62
4. 課題 04：為提升應變作為，應強化調適與防災預警資訊準確度及傳達效率	62
5. 課題 05：因應災害規模增加，調適及抗災之設備、措施及技術需更新及強化	63
6. 課題 06：因應氣候變遷下之極端災害，應強化培育調適及防救災人才並經驗傳承。	63
三、商港系統	64
1. 課題 01：因應港埠建設調適與防災管理需求，應建立風險管理機制	64
2. 課題 02：為健全商港區域面對氣候變遷之調適與抗災能力，應增進商港環境韌性、降低脆弱度	64
3. 課題 03：因應複合型災害發生機率增加，商港經營及管理單位應強化跨單位調適及聯防能力	64
4. 課題 04：為強化預警應變力，應精進預警資訊系統及工程技術	64
5. 課題 05：因應氣候變遷下之極端災害，調適及防救災人才需強化培育	65
6. 課題 06：為提升商港系統氣候變遷調適作為，應加	

強與國外調適及災防技術與資訊交流	65
四、機場系統	66
1. 課題 01：為強化現行風險管理機制，應思考如何蒐集風險評估及計畫投資決策所需資料	66
2. 課題 02：因應氣候挑戰，應建立各項因地制宜之管理機制及強化跨域協調	66
3. 課題 03：為提升天氣事件致災的預警精度與速度，應運用科技強化並持續建置各項預警系統及助航設備	67
4. 課題 04：為維持災防能量，應提升運輸設施遭受天氣事件衝擊的應對能力	67
5. 課題 05：因應氣候變遷下之極端災害，調適及防救災人才需強化培育	67
6. 課題 06：為提升抗災能力，應強化調適及災防技術與資訊交流	67
肆. 展望篇	68
一、調適與防災政策	68
(一) 調適與防災政策架構	68
(二) 調適與防災策略規劃基本原則	69
二、調適與防災策略及行動方案	70
(一) 強化災害風險管理機制，確保設施整體安全性	

.....	70	5. 策略 05：強化培育氣候變遷調適、防災專業人才	88
1. 策略 01：建立或精進運輸設施安全性與風險評估方法並定期評估	70	6. 策略 06：持續進行國內外調適與防災資訊交流	89
2. 策略 02：強化災害偵查機制與應變作為.....	72	附錄：行動方案一覽表	90
3. 策略 03：運輸設施考量周邊環境關係並盡量迴避高災害潛勢地區	73		
4. 策略 04：強化並滾動檢討現行災前整備作業	74		
5. 策略 05：優化設施管理資料庫及系統	76		
(二) 提升跨域聯防及調適能力，增加設施抗災韌性	77		
1. 策略 01：健全氣候變遷調適跨域整合聯繫機制	77		
2. 策略 02：研商並建立運輸系統設施間備援方案	78		
3. 策略 03：強化跨運輸系統介面及重要維生基礎設施聯外/聯絡道路衝擊耐受力	79		
(三) 提升科技技術，達成防災預警資訊迅速傳遞..	80		
1. 策略 01：精進災防預警系統與技術	80		
2. 策略 02：應用科技強化運輸設施之巡檢與監測	83		
3. 策略 03：研發及運用有助提升衝擊耐受力的材料、設備與工法.....	84		
4. 策略 04：持續導入及應用各項新興科技.....	86		

圖次

圖 1.1 近 20 年西北太平洋颱風生成個數	2	圖 2.15 新加坡風險管理及行動方案架構	52
圖 1.2 近 20 年強烈颱風個數	2	圖 2.16 民航局安全管理系統	54
圖 1.3 運輸部門氣候變遷調適策略規劃架構	6	圖 2.17 桃園國際機場埔心溪溪水倒灌入機坪	55
圖 1.4 氣候變遷調適與災害防救之基礎與內涵	7	圖 2.18 桃園國際機場航班資訊手機 APP	58
圖 1.5 氣候變遷調適與災害防救之關係圖	7	圖 4.1 運輸部門氣候變遷調適與防災策略規劃基本原則	69
圖 2.1 氣候回復力示範計畫風險評估架構	12		
圖 2.2 公路總局因應氣候變遷調適改善計畫	14		
圖 2.3 臺鐵 104 至 111 年建設計畫綜合規劃研究流程	27		
圖 2.4 高鐵天然災害告警系統示意圖	29		
圖 2.5 美國長堤港氣候變遷海岸回復力計畫規劃程序	33		
圖 2.6 香港國際貨櫃碼頭公司風險管理架構及步驟	35		
圖 2.7 香港區域排水及蓄水系統用於強降雨及洪水發生	35		
圖 2.8 新加坡海事港務局開發手機應用軟體 「myMaritime@SG」	36		
圖 2.9 臺灣港務公司重大災害通報作業程序	43		
圖 2.10 美國、日本惡劣天氣狀況影響機場營運	46		
圖 2.11 FAA 建議之機場調適計畫研擬步驟	49		
圖 2.12 香港機場第三跑道排水系統建置工程	50		
圖 2.13 香港機場主要聯外道路旁的邊坡屏障	51		
圖 2.14 新加坡樟宜機場及其附近地區海拔高層分析	51		

表次

表 1.1 2017 年全球天然災害事件總災損排序	1
表 1.2 2013-2017 年全球天然災害事件死亡人數排序	1
表 2.1 氣候變遷對公路系統的影響	11
表 2.2 紐約州交通局研擬氣候變遷調適策略表（公路）	12
表 2.3 英國交通主管機關所研擬之調適策略一覽表	13
表 2.4 日本國土交通省氣候變遷調適計畫	13
表 2.5 「國道邊坡全生命週期維護管理系統」功能	15
表 2.6 光達技術應用（地貌變異分析）	21
表 2.7 氣候狀態對鐵道系統設施可能產生之影響衝擊	23
表 2.8 英國交通主管機關所研擬之調適策略一覽表	24
表 2.9 UIC 調適計畫重點表	25
表 2.10 商港海域與陸域設施	32
表 2.11 氣候狀態對商港系統設施可能產生之影響衝擊	32
表 2.12 日本港灣與商港調適策略	34
表 2.13 108 年港務公司災害風險管理財政預算分配情形	40
表 2.14 氣候狀態對機場系統設施可能產生之影響衝擊	45
表 2.15 機場空側與陸側設施	45
表 2.16 我國機場近 5 年颱風事件彙整表	47
表 2.17 氣候變遷對機場影響及相關調適與防災策略	48
表 2.18 臺灣各地機場助航裝備	57

壹. 緒論

一、目的

現今面臨氣候變遷之考驗加劇，如何面對所帶來之衝擊，已成為近年國際主要焦點及各國重要施政議題擬定方向，而運輸系統在面臨氣候變遷時的調適與防災作為至關重要，因其不僅與人民日常生活息息相關，亦是影響國家能否維持正常運作的重要關鍵。

依據聯合國國際緊急災害資料庫 (EM-DAT) 統計，近年來 (2000 年迄今) 全球重大天然災害次數雖有減少之趨勢，但災害造成的生命及財產損失，卻逐漸增加，就連高度開發國家皆受到莫大衝擊，如 2017 年，美國德州哈維颶風、佛羅里達州艾瑪颶風、波多黎各瑪麗亞颶風等造成的經濟損失總共約為 2,900 億美元，占當年全球總損失的 80% 以上 (如表 1.1 及表 1.2)。

表 1.1 2017 年全球天然災害事件總災損排序

排序	年份	時間	國家	災害類型	總損失 (千美元)
1	2017	08/25-08/29	美國	颶風 (哈維)	\$127,500,000
2	2017	09/20	波多黎各 (美國)	颶風 (瑪麗亞)	\$91,800,000
3	2017	09/10-09/28	美國	颶風 (艾瑪)	\$51,000,000

表 1.2 2013-2017 年全球天然災害事件死亡人數排序

排序	年份	時間	國家	災害類型	死亡人數
1	2015	04/25	尼泊爾	地震 (規模 7.8)	8,831
2	2013	08/11	菲律賓	颱風 (海燕)	7,354
3	2013	06/12-06/27	印度	洪水	6,054
4	2015	06/29-08/09	法國	極端氣溫 (熱浪)	3,275
5	2017	09/20	美國	颶風 (瑪麗亞)	2,981

資料來源：國際緊急災害資料庫 EM-DAT，國家災害防救科技中心彙整。

依據中央氣象局網站統計資料及科技部發布的「臺灣氣候變遷科學報告 2017」指出，臺灣過去一百年內均溫上升約攝氏 1.3 度，如氣候情境選擇於最劣情境（RCP8.5¹）下，預測 21 世紀末可能增溫超過攝氏 3 度，極端高溫每年發生日數可能超過 100 天；海平面上升速度於過去近 20 年間測站數據顯示，約為每年 3.4 公釐，且上升幅度有增快趨勢；強降雨事件上，雖然年總雨量變化無明顯增加的狀況，但是由相關降雨指標可發現乾濕季節差異越趨明顯，極端多雨及少雨日數皆有增加趨勢，而短延時強降雨頻率亦增加，對運輸設施造成之衝擊甚大；根據美國聯合颱風警報中心(JTWC)1950~2014 年的資料，這段時期共有 285 個颱風影響臺灣，每年約有 4.5 個颱風影響臺灣，對照近 20 年西北太平洋颱風生成個數（如圖 1.1），其颱風生成趨勢無明顯變化，但近 10 年之強颱和過去比較的確略有增加（如圖 1.2），且侵臺颱風移動速度有變慢的趨勢，且影響的時間變長。

¹ RCP（Representative Concentration Pathways）為 IPCC 第五次評估報告（AR5）所定義出來的代表濃度途徑，RCP8.5 為溫室氣體高度排放的情境。

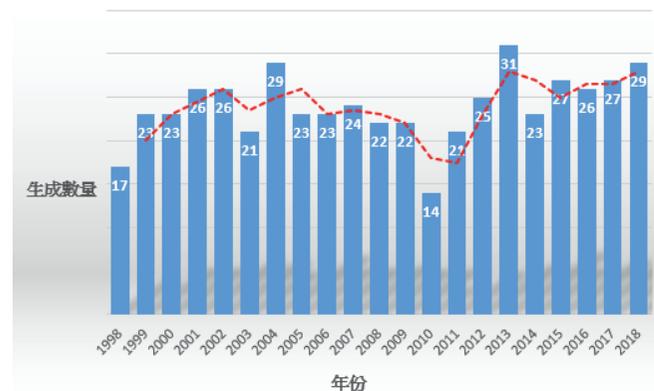


圖 1.1 近 20 年西北太平洋颱風生成個數

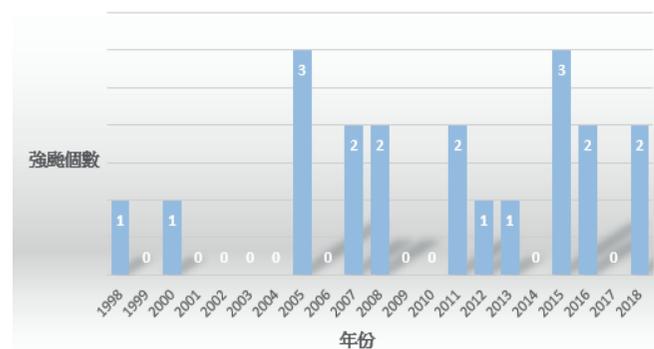


圖 1.2 近 20 年強烈颱風個數

註：此圖表包含發布及未發布警報之颱風。

資料來源：中央氣象局颱風資料庫（圖表為本分冊彙整）。

由此可知，氣候變遷對於我國之影響為持續且不可逆，主要衝擊大致可歸納為：年均溫度上升、海平面上升造成沿岸地區溢淹、降雨型態改變（極端降雨事件頻率與強度增加、颱風強度增加）等影響，而此已成為我國當前亟需面對重大環境災變議題，面對這些挑戰，政府單位必須要研擬因應策略，健全面對氣候變遷之調適與防災能力，以降低脆弱度並強化韌性，除了透過各項節能減碳、減少溫室氣體等綠運輸作為外，亦須思考如何強化氣象監測與預報能力，並採取措施有效降低氣候變遷所帶來之衝擊，以適應其變化。

本部「運輸政策白皮書」歷年來已完成三版，前一版（民國 102 年）運輸政策白皮書已分別就海運、空運、公路公共運輸、運輸安全、智慧運輸、綠運輸等進行探討。而本（2020 年）版運輸政策白皮書則特別配合當前氣候變遷重大議題，新增「運輸部門因應氣候變遷調適與防災分冊」，期於出版後能提供各運輸系統在面對氣候變遷下之極端氣候，擬定發展願景與政策、界定重要課題、研擬因應策略與短中長期行動措施，以及增加民眾對於政府未來施政方向的瞭解。

二、範疇

本分冊以我國氣候變遷上位指導計畫「國家因應氣候變遷行動綱領」（以下簡稱「行動綱領」）及「災害防救基本計畫」之目標願景為根基，進一步綜整及蒐集氣候變遷下，國內外運輸系統設施的衝擊與機關當前或未來預備推行之調適與防災作為，以加強掌握當前現況。

審視國內外相關調適與防災策略或措施現況後，再利用相關統計研究資料、管理機關訪談及產官學研專家學者訪問座談等方式，界定各運輸系統所面對的影響衝擊及亟需面對的課題。

最後，針對課題分析結果，綜合提出相對應之調適與防災策略及短中長期行動方案，供各運輸設施主管機關參採，落實於各級運輸機關實際推動政令之執行計畫，由上而下整合於一體。

(一) 本分冊運輸設施範疇如下：

1. 公路：路線重要設施及系統設施。
2. 鐵道：場站、路線重要設施及系統設施。
3. 商港：海域與陸域設施及系統設施。
4. 機場：空側與陸側設施及系統設施

(二) 本分冊時空範疇如下：

本分冊時空範疇除了以歷史影響衝擊為策略基礎以外，並考量現況及未來風險的重要性。本分冊所用各項統計資料、現況分析、重大極端天氣事件以近 10 年為原則。

(三) 本分冊氣候狀態範疇如下：

依照聯合國氣候變遷政府間專家委員會（IPCC）發表之「氣候變遷評估報告」中指出，氣候變遷下所造成之影響包括均溫升高、極端氣溫、海平面上升、地區性強降雨、熱浪、暴潮、乾旱、野火及氣旋等。

本分冊考量臺灣交通運輸可能面臨氣候變遷的衝擊，聚焦強降雨、強風、暴潮、高溫、海平面上升等 5 大氣候狀態與相關氣象事件，並依據中央氣象局提供之即時監測與預報

資訊，分析其對於各運輸設施可能產生的影響衝擊，並分別說明運輸部門因應氣候變遷調適與防災當前與未來將面臨的重要議題，據以擬訂因應之政策與策略。

(四) 本分冊調適與防災範疇如下：

1. 調適範疇

調適的主要法源依據為民國 104 年 7 月公布實施之「溫室氣體減量及管理法」（以下簡稱「溫管法」）。依據「溫管法」第 3 條之用詞定義：「氣候變遷調適是指人類系統對實際或預期氣候變遷衝擊或其影響之調整，以緩和因氣候變遷所造成之傷害，或利用其有利之情勢」。

而環保署則依「溫管法」，擬訂「行動綱領」，現為我國氣候變遷調適計畫上位指導。「行動綱領」係以：「制定氣候變遷調適策略，降低與管理溫室氣體排放，建構能適應氣候風險之綠色低碳家園，確保國家永續發展」為願景，並以：「健全我國面對氣候變遷之調適能力，以降低脆弱度並強化韌性」為目標。

後續各中央目的事業主管機關即必須據此進一步設定調適目標、研議調適策略並提出行動方案。

行政院於民國 101 年 6 月核定之「國家氣候變遷調適政策綱領」（以下簡稱「政策綱領」），要求各部會及所屬機關須據此持續進行調適行動方案與計畫的規劃、執行及控制，以具體落實氣候變遷調適目標。

故本部遵循「政策綱領」提出「維生基礎設施領域行動方案（102-106 年）」，並以「提升維生基礎設施在氣候變遷下之調適能力，以維持其應有之運作功能並減少對社會之衝擊」為總目標，提出各項行動計畫。

現前揭行動方案已屆期並執行完畢，本部依循「行動綱領」提出相關調適行動方案與計畫，並由環保署彙整各部會資料完成「國家氣候變遷調適行動方案（107-111 年）」，已於 108 年 9 月 9 日奉行政院核定，後續將據以進行氣候變遷下各運輸系統之調適工作。

另本部運輸研究所（以下簡稱運研所）依循前揭調適核心概念，針對提升運輸設施調適能力，提出運輸部門氣候變

遷調適策略規劃架構，四大構面（如圖 1.3）分別為提升衝擊耐受力、強化預警應變力、提高系統回復力、增進決策支援力。

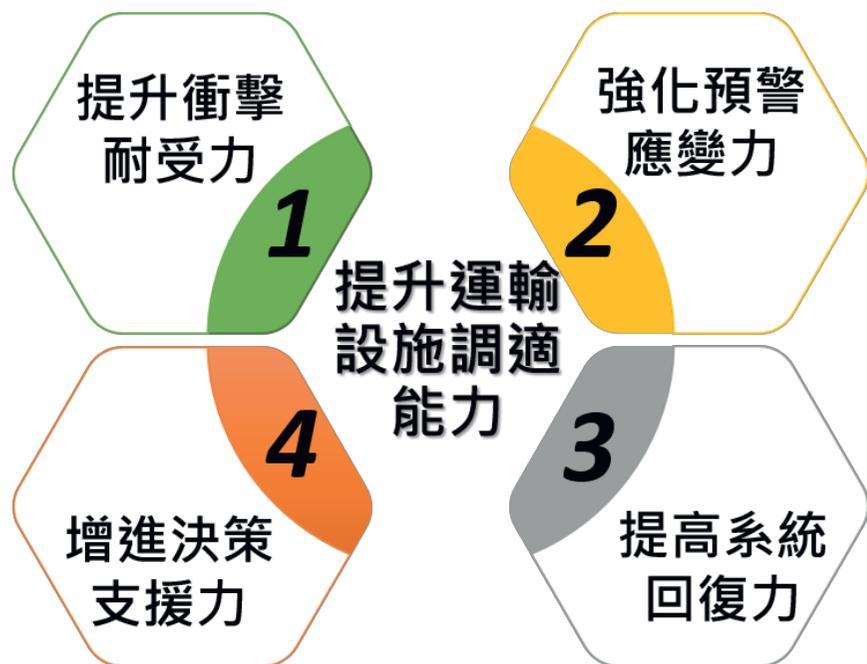


圖 1.3 運輸部門氣候變遷調適策略規劃架構

資料來源：交通部運輸研究所－運輸系統調適策略研究(108年)。

2. 防災範疇

為健全國家災害防救體制，強化災害防救功能，以確保人民生命、身體、財產之安全及國土之保全，我國遂於民國 89 年 7 月公布實施「災害防救法」（以下簡稱「災防法」），至今已歷經 7 次增修，其定義「災害防救係指災害之預防、災害發生時之應變及災後之復原重建等措施」。而依「災防法」之規範，「災害防救計畫」分為 3 個層級，分別為「災害防救基本計畫（全國性）」、「災害防救業務計畫」及「地區災害防救計畫」。

而由「災害防救基本計畫」之緣起與依據，即可看出係以過去 5 年的全球及國內災害環境變遷與災害情勢為考量基礎，其在規劃基期上相對偏向短期觀點。調適與防災之基礎內涵及差異整理如圖 1.4、圖 1.5 所示。

另本分冊所探討及研擬之策略及行動方案，於調適部分主要著重於公共工程生命週期前期可行性評估、規劃設計階段，如：新建設施避開高風險潛勢區、強化衝擊耐受力等；防災部分則以災害之預防及災前整備為主。

【氣候變遷調適】

- 指人類系統，對實際或預期氣候變遷衝擊或其影響之調整
- 鑑於當前衝擊及未來風險
- 溫室氣候減量及管理法
- 國家因應氣候變遷行動綱領
- 提出8大政策內涵，做為因應氣候變遷之指導方向
- 偏向長期

定義

動機

法源

指導計畫

核心內容

規劃基期

【災害防救】

- 災害之預防、災害發生時之應變及災後之復原重建等措施
- 基於歷史災害經驗
- 災害防救法
- 災害防救基本計畫
- 針對18種主要災害類型提出5大方針18項策略，並針對災害預防、災前整備、緊急應變、復原重建提出47項對策
- 具備氣候變遷思維
- 偏向短期

圖 1.4 氣候變遷調適與災害防救之基礎與內涵

資料來源：交通部運輸研究所－運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫(107年)。

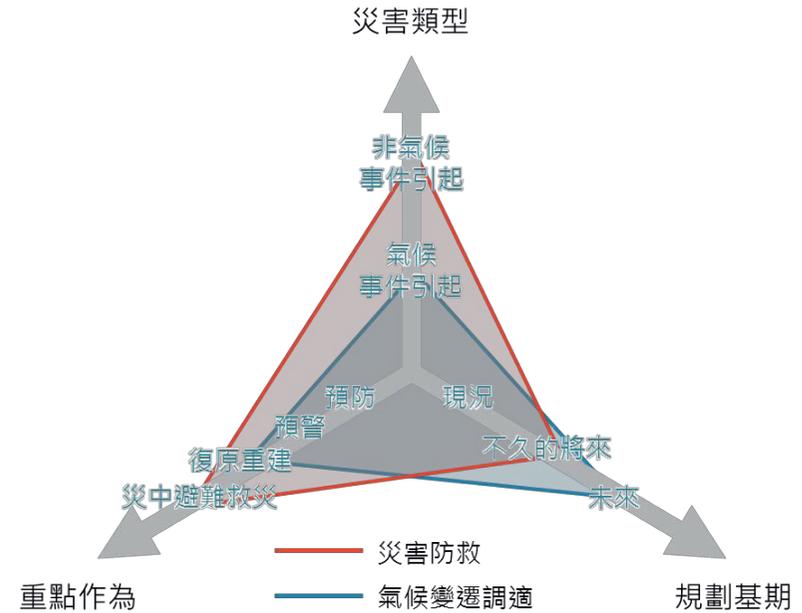


圖 1.5 氣候變遷調適與災害防救之關係圖

資料來源：交通部運輸研究所－運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫(107年)。

三、架構

本分冊主要架構為：

（一）背景篇：審視現今各運輸系統面對之氣候變遷挑戰，重點回顧國內外運輸系統調適與防災現況。

（二）課題篇：透過現況的檢討，界定當前運輸系統調適與防災課題。

（三）展望篇：研提政策，並提出各項策略與不同運輸系統之行動方案。

貳. 背景篇

一、 公路系統

(一) 背景分析

我國公路依「公路法」第二條之定義為國道、省道、市道、縣道、區道、鄉道。依「公路路線系統分類基準」第三條依運輸功能分類為高速公路、快速公路、主要公路、次要公路、地區公路等五級。公路養護單位藉由公路巡查、檢測及養護，確保公路、橋梁、隧道及其附屬設施等，維持原有功能、良好行車及安全狀態。若公路遭受颱風、地震、豪雨、冰雪之侵襲，以及人為之破壞，致使公路阻斷、公路設施損壞或危及行旅安全，公路養護單位即辦理特別巡查、特別檢測並予以搶修或修復，讓公路隨時提供良好之服務水準。

由於氣候變遷的影響，臺灣公路系統面臨氣溫上升、降雨型態改變、海平面上升、極端天氣事件發生的強度與頻率升高等挑戰，氣候變遷對我國公路系統之衝擊如下（如表 2.1 所示）：

1. 降雨型態改變

降雨型態改變可能導致乾旱、連續降雨日數增加、極端降雨（如颱風豪雨）等，進而造成洪水災害、地層下陷及地質災害等事件發生。極端降雨可能造成邊坡土壤流失、路基流失、高含砂水流衝擊設施或河岸侵蝕等現象，間接影響鐵路如鋪面、邊坡、隧道、橋梁、排水系統等各層面之建設元件。

- (1) 極端降雨之瞬間強降雨，道路鋪面、鐵路排水不及或土石災害造成之水路阻塞，容易產生路面積水，進而產生路基土壤流失，導致部分功能喪失，或是交通中斷。
- (2) 極端降雨之瞬間強降雨，邊坡受水流沖蝕造成土砂災害或邊坡崩落，導致道路、隧道、橋梁等受到影響，特別是山區易產生邊坡崩塌、土石流等災害，易使交通中斷，喪失運輸功能。
- (3) 極端降雨事件所產生的高含砂水流直接衝擊橋梁系統，可能導致公路設施撞擊損壞，致交通中斷。特別是山區坡陡流急，水流可移動之土砂顆粒較大，容易產生橋墩、

橋台或橋面板的損壞。

- (4) 極端降雨事件中河川沖刷護岸，可能導致路基、橋台等設施受淘刷而損壞，致交通中斷，特別是山區坡陡流急，易發生此類事件。
- (5) 乾旱事件若與高溫結合，易使公路系統之路基土壤劇烈收縮，產生裂縫，若再受降雨與水流作用，更容易有路基流失的破壞，致使交通中斷，例如隧道、路基部分。

2. 溫度上升

溫度上升對公路系統之影響，主要為公路系統受到形變而造成破壞，如道路鋪面等。公路系統鋪面的破壞，一般分為因重車荷重造成之疲勞破壞、溫差造成之鋪面溫度裂縫破壞，以及因溫度造成之車轍現象永久變形破壞。

- (1) 一般市區道路為例，夏季氣溫 35°C，但路面平均溫度較 35°C 為高，道路鋪面可能因為高溫或熱浪侵襲，鋪面之瀝青產生流變與車轍現象，使鋪面軟化破壞，進而造成交通阻礙，導致運輸功能暫時喪失。
- (2) 山區公路系統易產生高低溫差之溫度裂縫，致使鋪面破

壞，可能發生運輸中斷之現象。

3. 海平面上升

海平面上升對公路系統之影響，主要為位處低窪地區以及沿海地區之公路設施將會受到影響，一為受暴潮越堤所造成之公路設施損壞，二為因低窪地區內水無法排除所造成之溢淹狀況，而導致交通中斷。

- (1) 沿海公路鋪面受到暴潮越堤影響，若路面無法即時排水，又遭車輛重複碾壓可能造成鋪面破壞，進而使交通中斷。
- (2) 沿海公路因內水無法排除，造成道路溢淹且泡在水中，導致交通中斷。
- (3) 沿海公路之排水系統溢淹後，受到水流牽引而致使路基土壤流失，造成公路設施破壞，進而導致交通中斷。

表 2.1 氣候變遷對公路系統可能造成的影響

單元	降雨型態改變	溫度上升	海平面上升
道路鋪面	<ul style="list-style-type: none"> 暴雨事件造成路面溢淹，增加鋪面破壞而使交通中斷 	<ul style="list-style-type: none"> 路面柏油受溫度上升影響而破壞，迫使交通受阻中斷 	<ul style="list-style-type: none"> 暴潮越堤破壞沿海公路鋪面 低窪地區內水溢淹損壞鋪面
邊坡工程	<ul style="list-style-type: none"> 暴雨事件損壞坡面，中斷交通 暴雨事件造成排水系統設施阻塞、沖蝕 暴雨事件或乾旱事件造成路基流失破壞 	<ul style="list-style-type: none"> 邊坡鄰近之森林受溫度上升影響而造成火災，迫使交通受阻中斷 	<ul style="list-style-type: none"> 低窪地區內水溢淹所造成之道路邊坡或路基流失破壞
隧道工程	<ul style="list-style-type: none"> 暴雨事件造成隧道內排水系統設施阻塞、沖蝕等破壞 暴雨事件或乾旱事件造成路基流失破壞 	—	—
橋梁	<ul style="list-style-type: none"> 暴雨事件造成高含砂水流致橋梁損壞 暴雨事件水流沖蝕河岸致使橋梁基礎破壞 	—	<ul style="list-style-type: none"> 低窪地區內水溢淹所造成之交通中斷 溢淹造成橋梁結構受衝擊破壞，中斷交通

資料來源：交通部運輸研究所－重大鐵公路系統氣候變遷調適策略與脆弱度評估指標之研究（104年）。

（二）國外調適與防災策略概況

為掌握全球氣候變遷調適計畫及發展趨勢，本節綜理國外氣候變遷調適與防災策略概況，包含美國、英國、日本等。

1. 美國

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

FHWA 負責建造、維護國家公路、橋梁及隧道，並提供州及地方政府相關技術支援，其配合上位政策之相關調適作為於規劃面透過先導計畫（pilot program）與預算編列，鼓勵州交通局將氣候變遷影響納入交通規劃。

FHWA 在 2010-2011 年與地方交通局合作執行「氣候變遷回復力示範計畫」（Climate Change Resilience Pilots），該計畫的目的為「建立美國公路系統氣候變遷衝擊及極端天氣事件下之脆弱度及風險評估架構，並發展調適方案」（如圖 2.1）。

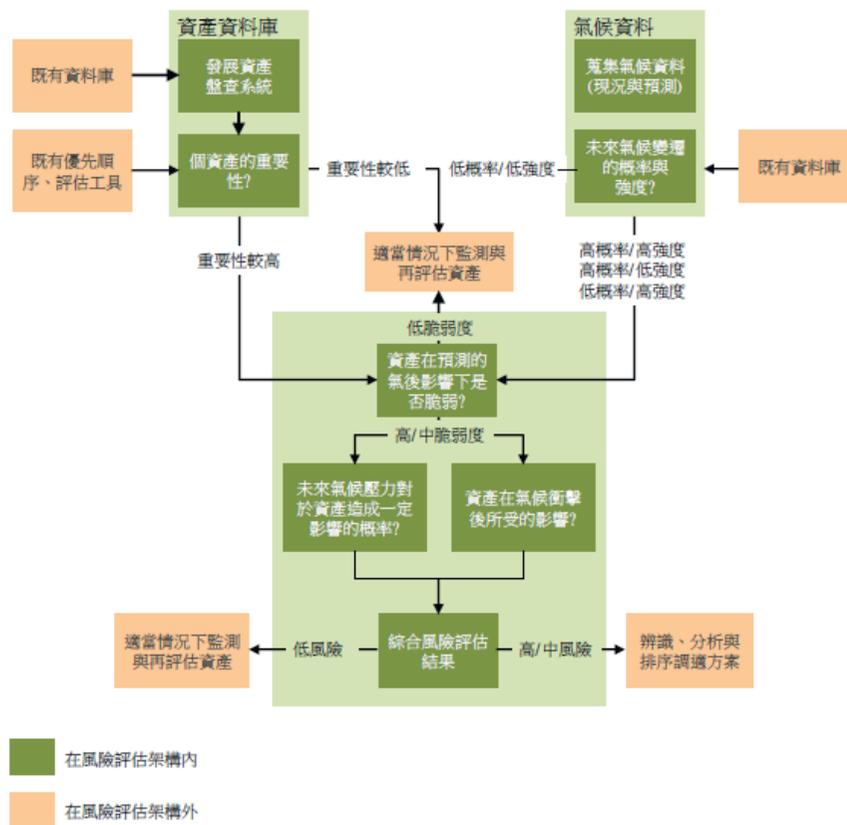


圖 2.1 氣候回復力示範計畫風險評估架構

資料來源：Federal Highway Administration, Climate Change Resilience Pilots(2011)

(2) 紐約州交通局

紐約州交通局依據前述計畫針對紐約州交通系統脆弱度進行辨識，並分析氣候變遷下的風險，提出調適策略之方向並建議將調適策略主流化，包含交通局各部門的法令、政策、計畫等（如表 2.2）。

表 2.2 紐約州交通局研擬氣候變遷調適策略表（公路）

單位	氣候影響	調適策略
紐約州 交通局	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 路段淹水 ▪ 設施淹水 ▪ 橋梁斷裂 ▪ 邊坡崩塌 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 高速公路系統執行地區淹水防範（海牆） ▪ 增高或搬遷道路設施與其他重要設施 ▪ 提高暗溝、洩洪區與排水系統的容受力 ▪ 確保完善維護以達到所設計之容受力 ▪ 增高道路堤防並強化邊坡 ▪ 增高或搬遷淹水區之道路 ▪ 監視內陸橋墩的沖刷情形並視情況進行修補

資料來源：交通部運輸研究所－運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫(107年)。

2. 英國

英國政府於 2013 年發佈國家調適方案，其針對交通部門制定 5 年的行動方案，確保英國的交通設施能兼顧經濟、環境與社會等發展面向，並因應人口成長與氣候變遷之災害

提高設施回復力。交通設施之調適目標設定為「確保交通建設的建設地點、規劃內容、工程設計與維護機制足以面對極端氣候所產生的衝擊」(如表 2.3)。

表 2.3 英國交通主管機關所研擬之調適策略一覽表

主管機關	調適策略
交通部 (DfT)	透過與民間合作進行一系列的研究，以提高設施建設規劃與設計之回復力。
高速公路機關 (Highways Agency)	透過 6 大計畫將氣候變遷調適納入其營運模式： <ul style="list-style-type: none"> ◆維持安全且可營運的路網 ◆監測氣候變遷的速度與對於特定資產之影響 ◆更新營運程序 ◆開發未來防範之設計 ◆納入應變規劃 ◆設施改善方案
倫敦運輸局 (TfL)	利用預測之降雨形式檢視倫敦地下路網之淹水風險。

資料來源：NM Government, National Adaptation Plan (2013)

3. 日本

國土交通省於 2015 年發佈氣候變遷調適計畫，調適計畫以 10 年為規劃原則，將重點放在維護民眾生命財產安全、確保交通設施與系統可支持社會與經濟活動、維護民眾生活品質、調整設施設計 (如表 2.4)。

表 2.4 日本國土交通省氣候變遷調適計畫

災害類型	調適策略
淹水、強降雨	<ul style="list-style-type: none"> ◆高風險淹水地區的交通建設定期維護與更新 ◆提高交通設施的淹水調適能力並完善執行防災措施 ◆定期維護堤防、排水系統與防洪系統 ◆利用風險地圖決定排水系統的與堤防等淹水防範設施的建設地點 ◆與高風險淹水地區與社區合作，整合多個地區的排水與儲水系統，降低淹水之風險。
邊坡災害	<ul style="list-style-type: none"> ◆持續開發新技術監控土石流與河流阻礙，將對交通系統與民眾的影響降低 ◆進行人員與組織在災害疏散上的培訓 ◆利用無人機等進行土石流災害的勘察，做為災害分析與計畫研擬之資料。

資料來源：國土交通省氣候變動調適計畫 (2015)。

(三) 國內調適與防災策略概況

1. 法規制度面

本部公路總局（以下簡稱公路總局）現行防災相關法規已訂定「公路防災預警機制」（含一、二級監控路段燈號等級應變作為及封橋封路標準作業程序）及「重大災害前進指揮所設置作業要點」，並將導入「全流域管理概念」，監控評估各次集水區降雨匯流後對下游橋梁及路段影響；因應氣候變遷部分，該局「省道改善計畫（108-113年）」已奉行政院於民國107年10月3日核定，計有防避災工程、防災管理及智慧化科技，推動從「防止」觀念改變為「管理」概念，計畫構想如圖2.2所示。

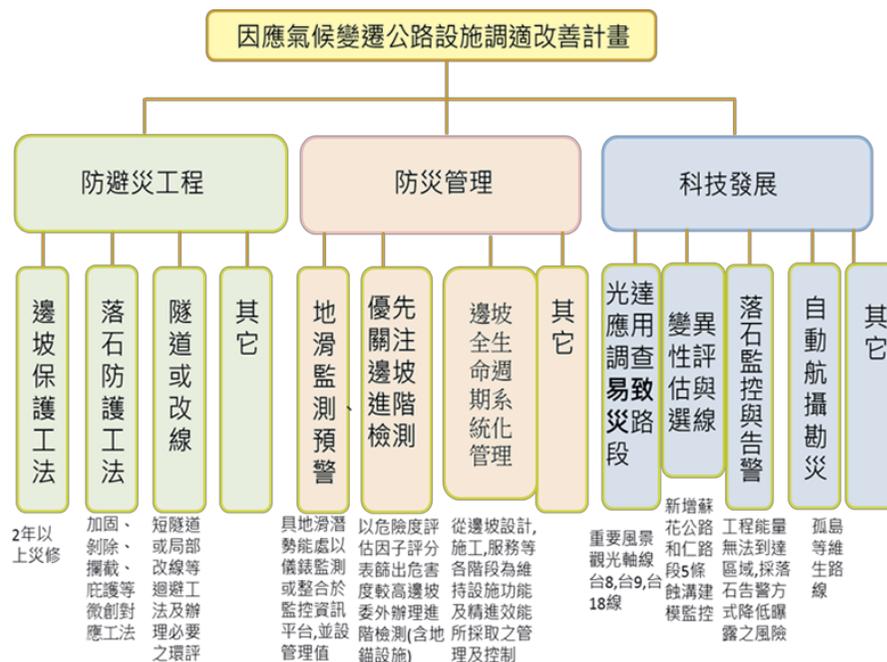


圖 2.2 公路總局因應氣候變遷調適改善計畫

資料來源：交通部公路總局（107年）。

本部高速公路局（以下簡稱高公局）現行防災相關法規已訂定「災害防救標準作業手冊」、「高速公路局重大災害處理要點」、「災害搶修處理要點」及「高速公路強風管制作業規定」等；另依據部頒「公路修建養護管理規則」及「公路養護規範」等，訂定「高速公路養護手冊」，並建置各公路設

施資訊管理系統，如橋梁、隧道、邊坡（如表 2.5）、路面等，輔以全生命週期管理概念，兼採自動化及科技化管理作為，以確保國道行車安全。

表 2.5 「國道邊坡全生命週期維護管理系統」功能

設施	系統上線	系統目的	系統特色
邊坡	101 年	以系統化及自動化方式，納入國道邊坡各階段資料，包括： 1.基本資料：邊坡自然環境資料 2.規劃新建：規劃設計階段資料 3.監測管理：監測儀器數據 4.巡查維護：邊坡巡查紀錄 5.工程/技術服務管理：養護工程管理 6.利用資料庫及 GIS 圖台，建構全新邊坡管理系統平台，供高公局業務單位使用。	1.以標準化邊坡單元進行管理 2.按邊坡安全性訂定各項處置原則 3.採用邊坡履歷記錄邊坡各項相關資料 4.自動化監測，即時監控邊坡現況 5.建立多元通報功能，回報改善情形、異常狀況及待辦追蹤等 6.以 GIS 圖台視覺化顯示邊坡重要資訊

資料來源：交通部高速公路局（107 年）。

公路相關的設計規範，如「公路邊坡大地工程設施維護與管理規範」、「公路路線設計規範」、「公路橋梁設計規範」、「公路排水設計規範」等。

有關公路巡查相關規範，依據「公路修建養護管理規則」及本部頒「公路養護規範」訂定「公路養護手冊」。

2. 管理機制面

(1) 風險管理機制

公路總局之公路防災思維為主動防災及離災，藉由公路防災預警機制，採用「預判、部署、通告、預警及應變保全」等五階段，並依即時氣象情資採取適當管制或封閉作為，達成離災之目標。

① 災前：當研判天氣事件（如颱風）對公路設施可能致災時，各工務段將進行防汛整備作業及成立「緊急應變小組」，並在抗災能力較弱的路段或邊坡，預先部署保全及搶修機具。部分易致災道路經研判降雨量可能致災時，將實施預警性封閉；易淹水地下道已建立防災預警應變機制，災前協調工務段、抽水機電維護廠

商、現場保全及當地派出所等做好整備；於常致災或可能致災點位，建立諮詢熱點。災中：當降雨量達到該路段注意值時，將請保全進駐守視；當雨量持續累積至警戒值時，就會考量進行管制或封路作為；達行動值時則進行封路封橋作業。易淹水地下道災中密切監看水情，以便及時採取管制或封閉措施，防止人車誤入。強風偵測及宣導採現場風速計實測風力，連動相關公路路側電子資訊看板 CMS 宣導。

- ② 橋梁檢測作業：為早期發現橋梁結構物的異常與損傷，採 DERU 方式評定，經評估風險程度較高者，後續進行補強或改建作業。
- ③ 孤島情資掌握：預先掌握可能孤島區域（如廬山、梨山）之人數、緊急聯繫窗口、通訊方式及直昇機緊急停降點，必要時通知地方政府。

高公局國道系統風險管理機制作為如下：

- ① 邊坡：高公局依據邊坡評估結果架設監測儀器與地錨設施，以強化邊坡的性能，並依據「高速公路養護手

冊」的規定，每 4-5 年進行一次體檢，確認儀器與地錨的功能，依據安全性與邊坡等級，將需改善的邊坡進行排序，目前轄下邊坡皆屬於較穩定之 C、D 級邊坡。另已建置「邊坡全生命週期管理系統」，如監測儀器有監測到異常，會以簡訊方式通知負責之主管，達到即時監控的目的。「管理系統」另有配合的行動管理平台，使用平板進行邊坡巡檢結果的登錄，可即時通報段長與廠商進行維修，提高巡檢與資料蒐集的效率，達到風險管理的目的。另外高公局自民國 107 年起，與中央氣象局合作，全面勘查現有邊坡監測雨量計之設置環境，並由中央氣象局提供雨量計設置之建議，以改善雨量觀測準確度。

- ② 橋梁：已配合本部頒發橋梁耐震規範之修訂，對於耐震能力不足者，進行橋梁耐震補強工程，並依本部頒發橋梁檢測規範對於轄管橋梁進行相關巡查與檢測。另考量國道為全國防救災之生命線，並以離災概念，

將易致災地點（如易淹水交流道、橋梁通洪斷面不足者）進行防災改善工程，以降低阻斷風險。

(2) 災前整備作業

公路總局設計階段即考量相關災害潛勢分析結果，以進行養護及復建工程，可明顯降低公路設施脆弱度。

致災風險較高橋梁，進行耐震補強或改建（補強）工程，提高抗災能力。對於淹水、坡災潛勢區及歷史災點，加強災前防汛整備作為：

- ① 道路排水設施（邊溝、箱涵、沉砂池及集水池等）進行清疏作業；另預先通知地方政府對轄管設施啟動清疏作業。
- ② 易淹水地下道完成抽水機、發電機測試運轉及油料補給。
- ③ 在建工程（含臨河側工程）完成防汛檢查及緊急撤離。
- ④ 裸坡部分，進行邊坡緊急保護處理並預置保全及機具。
- ⑤ 備妥前進指揮所設備，預排人員並通知無人飛行載具（UAV）承商預先進駐。

- ⑥ 可能孤島地區搶修材料機具預先準備，並橫向通知地方政府。

該局運用多重管道向民眾（遊客）、觀光旅宿業者揭露氣象情資及可能道路管制作為，使其能主動知災、避災，降低風險暴露度。例如利用警廣連線專訪，宣導強陣風行駛於高架路段注意事項（風雨預報單平均風力達 8 級，建議減速慢行 30km/h；平均風力達 10 級，建議改行平面道路）。

高速公路因有行車速度快之特性，在天候不良情況下，相對影響行車安全亦大，為提高行車安全，部分路段設有天候偵測器，以偵測濃霧、強風及豪雨等不良天候狀況，以降低交通事故發生。相關作為有：

- ① 濃霧偵測：臺灣因地形因素影響，在每年 11 月至次年 3 月常出現濃霧，如發生能見度在 500 公尺以下的大霧或濃霧時，對行車視線影響甚大，且容易發生交通事故，因此國道部分路段設有濃霧偵測器用以偵測濃霧能見度指數，並利用資訊可變性標誌（CMS）即時告知用路人，以提高行車安全。

- ② 強風管制：高公局已訂定「高速公路強風管制作業規定」，將國道依往例風力情形及替代路段條件分為 A、B 兩級，若中央氣象局的平均風速預測達到管制標準時，即對外發布管制措施。目前 A 級強風管制路段包含有國 1 汐五和五楊高架、國 1 高雄漁港路以南到高雄港聯絡道、國 3 高屏溪橋以南、國 5 頭城到蘇澳等 4 路段，只要平均風速達 10 級以上就封路，8 級以上則需降速行駛。當啟動管制措施時，將透過資訊可變性標誌（CMS）、標誌車及相關警示設施，告知及導引用路人於相關路段之降速、大型車管制及道路封閉等行車管制資訊，亦會藉由 1968App、廣播、媒體、CMS 等管道發布及推播相關資訊加強宣導。
- ③ 豪雨影響：目前已有跟氣象局的雨量資料介接，依據警戒值與行動值採取相關行動。淹水多發生在地勢低窪處，水無處排而造成淹水；目前高速公路的水會藉由排水系統排到附近的大排、河流，但如斷面不足時則會造成淹水，如麻豆交流道，因該地區整體地勢低

窪，故要解決淹水問題需水利署、縣市政府等單位的合作。目前高公局的做法係利用 CCTV 監控淹水，如發現有淹水情形，即進行車流管制，提前通知用路人改道。「國道邊坡全生命週期維護管理系統」目前介接氣象局的雨量資料，以及水保局的土石流資料，透過資料的判讀提供高公局辨識需監控與巡檢之路段。

(3) 跨單位調適與防災作為

公路總局工程處及各工務段每年均於汛期前召開橫向會議，就防救災作業及事項相互協調並整合資源。另外，運用國家災害防救科技中心（NCDR）、水保局土石流、水利署河川水位與水庫洩洪、營建署淹水等單位災防告警系統，強化公路總局於災前、災中階段的因應處置能力。

高公局各養護工程分局平時已就現有內部各種車輛、機具與人力進行盤點，並將承包商可運用之各種應變資源完整調查，俾能使應變資源有效發揮。為強化跨領域調適與防災整備亦已建立相關聯繫會報，如「維護河川與保護橋梁安全共同聯繫會報」等。

3. 科技技術面

(1) 防災預警系統

公路總局預先盤點歷史易致災點位（邊坡橋梁或地下道）建立相關雨量管理值，並請駐點天氣分析師就劇烈天候分析，評估降雨熱區規模及延時之影響。另請分析師就災情預測內容與實際結果所生誤差，進行檢討，以提高日後準確度。並於天氣 LINE 群組提示即時強降雨資訊，供 24 小時水情人員通報相關工務段因應。防災辦公室可觀看中央氣象局開發之該局客製化劇烈天氣監測系統（QPESUMS），系統重點監控路段累積雨量（含雨量組體圖）、轄區雷達回波及對流發展情形，可即時提出預警訊息。事件結束後檢討強降雨地區（及致災處）之雨量管理值，配合當地地質、水文影響，適度調整以符合現況。

高公局轄區已建立密集之 CCTV 提供即時影像，可做為交通管理及防災之應用，並建立巡查與通報機制，確保訊息之正確性。另已建置「國道防救災應變資訊系

統」，即時介接政府相關單位與該局資料如下，以做為防災應變決策參考：

- ① 中央氣象局：雨量站觀測資料、風速計、地震報告、影像圖資。
- ② 經濟部水利署：水位站、水位即時資料、水位警示資料、淹水警戒資料。
- ③ 農委會水土保持局：土石流潛勢溪流、土石流觀測站、土石流警戒資訊。
- ④ 公路總局：橋梁（道路）預警性及災害性封閉。
- ⑤ 高公局：北區交控中心風速計、CCTV 靜動態資料、CMS 靜動態資料、邊坡警示資料。

(2) 防災資訊傳達

公路總局公路防救災資訊系統（Bobe）彙整道路災情後，同步推撥於省道交通即時網（含 APP）、Safe Taiwan（含 APP）、應變管理資訊雲端服務（EMIC）及便利超商 POS 機等，並建立相關單位（地方政府、監理單位、遊覽車、旅宿業者等）通訊群組。其他防災資訊傳達管道

如公路路側電子資訊看板(CMS)、FB、警廣及新聞稿等；必要時採區域簡訊廣播(LBS)、細胞廣播服務(CBS)宣導。劇烈天氣事件，以警廣專訪宣導。

國道各項防災預警資訊或路況訊息公布於高公局外網之最新消息或新聞、1968 app、1968 客服、資訊可變性標誌(CMS)、地區性警廣或其他新聞媒體等(含平面及電子媒體)，並適時將訊息傳送高公局相關業務群組人員知悉，以縮短災害資訊傳達時間、提高資訊掌握度，減少民眾生命威脅及損失。

(3) 公路抗災設備、措施及技術

公路總局利用 GIS 決策支援系統，介接各類災防資料，並可監控山水路橋人災警訊，亦有「邊坡資訊管理系統」，該系統包含邊坡之位置(里程樁號)、邊坡構造物、尺寸、邊坡等級、歷史災害事件清單、監測系統、現場照片等資訊。另運用美國落石災害評分系統(Rockfall Hazard Rating System, RHRS)評定及分級邊坡危險度。其他預警監控系統包括：

- ① 風力即時偵測宣導(如台 61 線崙尾灣橋)。
- ② 客製化 QPESUMS 系統(重點監控點位)。
- ③ 地下道淹水告警系統(如台 1 線苑裡地下道)。
- ④ 地滑區監控系統(如台 7 甲線、台 8 線及台 14 線地滑潛勢區)。
- ⑤ 邊坡落石告警系統(如台 8 臨 37 線、台 8 線及台 14 線)。

災後及復原階段包括：

- ① 無人飛行載具系統(UAS)全自動勘災(如台 7 甲線、台 8 線、台 14 線及台 21 線)。
- ② 光達技術應用(地貌變異分析)，藉由遙感探測方法，UAV 及 LiDAR 等科技設備協助建立數值模型，以辨識落石來源或地貌變異分析。如落石所在處太高或量大到無法攔截者以落石告警技術處理，利用可變式告示牌告知前有落石，同時以訊息通知管理者並啟動 CCTV，並以帶狀方式發送 CBS 告知用路人(如表 2.6)。

表 2.6 光達技術應用（地貌變異分析）

設備名稱	應用項目	應用路段
UAV+LiDAR	1.光達應用調查易致災路段	重要風景觀光軸線：蘇花中橫東段、阿里山公路
	2.變異性評估	台 8 線中橫便道、蘇花公路和仁路段蝕溝
UAV	3.落石監控與防治	蘇花 4 處、阿里山公路 1 處、新中橫 1 處
	4.攔石預警系統	蘇花 2 處（應力/應變計、位移計、紅外線光柵感測器）、台 3 線 1 處、阿里山公路 1 處（震動檢知器）
	5.維生路線自動航攝與勘災	7 條孤島維生路線

資料來源：交通部公路總局（107 年）。

高公局對於提升調適及抗災設備、措施及技術之更新及強化，列舉說明如下：

- ① 高公局已訂定「高速公路強風管制作業規定」對於易受強風影響路段進行相關管制。

- ② 高公局橋梁管理系統（LCBMS）具主動預警功能，如發生地震震度 4 級以上，系統將主動發送簡訊及電子郵件（e-mail）通知養護單位進行特別檢測。
- ③ 部分跨河橋梁，已於河川上游設立參考之水位站或特徵雨量站作為預警，以利管養單位進行必要應變作為。
- ④ 為瞭解河道變化及橋梁沖刷情形，高公局針對跨河橋梁每年定期施作河床斷面測量，並輔以無人飛行載具（UAV）進行空拍河道變化，以利第一時間獲取整個河川相關資訊，並對於已有發生沖刷之橋墩，進行無線沖刷粒子埋設作業，可準確得知洪峰期間之沖刷深度，以研判橋梁墩基之安全性，採取相關補強措施。
- ⑤ 高公局已建置「國道防救災應變資訊系統」，即時介接政府相關單位資料，以做為防災應變決策參考。
- ⑥ 高公局與中央氣象局合作，規劃利用國道沿線密集之 CCTV 塔，共同建置每 5 公里 1 處之氣象觀測設備，以利即時提供強風、豪雨及低能見度等影響行車安全之天氣預警資訊。

4. 人才培訓與交流面

公路總局防救災人員參加氣象、水利、大地、通訊、防災等專業課程及研討會（含氣象局、颱洪中心等）。駐點分析師每年 2 次氣象專業課程。經由每年教育訓練、模擬演練及實際應變過程，加強防災人員之警覺性及對災害通報、標準作業程序之熟悉度。針對各路段可能災害潛勢及情境，每年辦理大型演練，含高司及實兵演練；其中高司演練採無腳本進行。

高公局定期辦理災害防救教育訓練，並配合現地防救災演練，來提升同仁防災應變能力，例如民國 107 年已於各分局辦理 4 場次兵推演練，針對橋梁遭遇地震及颱風時，可能之災害狀況進行演練，如伸縮縫錯動、支承損壞、墩柱傾斜、水位上漲封橋、甚至斷橋等各項狀況，來強化同仁防災應變意識；另各分局於各年針對轄管橋梁之特性，均有安排實兵演練，如石龜溪封橋演練、橋梁伸縮縫錯動演練等。

二、鐵道系統

(一) 背景分析

氣候變遷的主要現象包括氣溫上升、降雨型態改變、海平面上升、極端劇烈天氣發生的強度與頻率升高等。上述現象對鐵道設施可能造成的衝擊包括山崩、地滑、落石墜落、土石流等邊坡災害、鐵軌挫屈、運輸場站淹水等，因而造成交通中斷，影響經濟與民眾生活（如表 2.7）。

表 2.7 氣候變遷對鐵道系統可能產生之影響衝擊

系統	影響衝擊
鐵道	<ul style="list-style-type: none">▪ 軌道或隧道淹水▪ 邊坡或隧道落石、坍方▪ 路基、橋梁因地表逕流沖蝕、洪水淘刷受損▪ 車站或其聯外道路淹水或受坡災衝擊▪ 架空電車線受損▪ 列車因強降雨、強風而無法正常行駛▪ 軌道因高溫挫屈▪ 臨海系統設施因海平面上升而被淹沒

註：影響衝擊包含曾實際發生及未來可能發生之衝擊。

資料來源：交通部運輸研究所－運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫(107年)。

(二) 國外調適與防災策略概況

為掌握全球氣候變遷調適計畫及發展趨勢，本節綜理國外氣候變遷調適策略概況，包含美國、英國、愛爾蘭及其他國家。

1. 美國

美國聯邦鐵路管理局（Federal Railway Administration, FRA）將氣候變遷之調適策略分為三大項：

- (1) 鐵路規劃：將氣候變遷與調適概念納入鐵路規劃，並編列預算。
- (2) 風險與脆弱度評估：評估海平面上升、暴風雨、暴風頻率增加、高溫等風險對設施的影響並建立風險評估的範例供機關使用。
- (3) 利害關係人(stakeholder)合作：向民眾發佈環境影響評估，民眾可針對氣候變遷對重要運輸廊道的影響提出評論、資訊與建議。

2. 英國

英國政府於 2013 年發佈國家調適方案，其針對交通部門制定 5 年的行動方案，確保英國的交通設施能兼顧經濟、環境與社會等發展面向，並因應人口成長與氣候變遷之災害提高設施回復力。

交通設施之調適目標設定為「確保交通建設的建設地點、規劃內容、工程設計與維護機制足以面對極端氣候所產生的衝擊」(如表 2.8)。

表 2.8 英國交通主管機關所研擬之調適策略一覽表

主管機關	調適策略
交通部 (DfT)	透過與民間合作進行一系列的研究，以提高設施建設規劃與設計之回復力。
英國國營鐵路公司 (Network Rail)	2013 年研擬 Network Rail Strategic Business Plan for 2014-2019，將氣候變遷發展之因應納入其營運管理： ◆預算編列防範鐵軌與橋梁在淹水與高溫下的損害 ◆進行氣候變遷災害對於鐵道影響之評估更新營運程序

	◆提升調適能力以做為調適決策之基礎納入應變規劃 ◆支持在氣候變遷下的鐵路資產脆弱度與系統相互影響之研究 ◆開發決策支援系統用於提高鐵路系統在氣候變遷下之回復力
倫敦運輸局 (TfL)	利用預測之降雨形式檢視倫敦地下路網之淹水風險。
鐵路及道路辦公室 (ORR)	鐵路安全與軌道經濟之規範，透過短中長期的永續計畫調適與監測其過程。

資料來源：NM Government, National Adaptation Plan (2013)

3. 愛爾蘭

愛爾蘭鐵路之調適策略包含後續研究課題、資料蒐集技術提升、決策支援系統與監測系統等的提升等，說明如下：

- (1) 淹水頻率的增長對暗溝、橋墩、車廂、場站、軌道等設施影響劇烈，透過更全面淹水事件蒐集與影響之辨別，可研擬更完善之中長期調適策略。
- (2) 透過淹水風險地圖瞭解既有與未來之淹水風險地點，用於研擬調適策略。

(3) 海平面上升與暴雨對於鐵路有一定的影響，透過開發決策支援系統評估海平面上升與暴雨對於軌道之影響。

(4) 持續投資軌道遠端監測系統以管理資產。

4. 其他

(1) 奧地利

奧地利聯邦鐵路局（Austrian Federal Railways）為因應氣候變遷之風險，系統性的紀錄與分析極端天氣事件，建立氣候資料庫用於預測並與風險地圖結合；偵測鐵路沿途之落石與土石流風險，透過早期警示系統提醒該路段之負責單位，達到災害預防之功能。

(2) 西班牙

西班牙的鐵路由 RENFE 營運，為因應極端天氣事件，開發一套先期警示系統，營運者可依據極端天氣事件從營運面進行解決方案執行，如班次中斷，可安排其他運具提供運輸服務。

(3) 國際鐵路組織（UIC）

UIC 成立於 1992 年，在全球有 200 個會員，其主導的氣候變遷下的鐵路設施調適（The Adaptation of Railway Infrastructure to Climate Change ,ARISCC）計畫（如表 2.9）致力於評估氣候變遷對於鐵路所產生之風險以及如何提高設施調適能力。

表 2.9 UIC 調適計畫重點表

項次	計畫重點
1	蒐集氣候資料
2	自然災害風險區之位置指認與可能產生之影響
3	監控設施狀態與其保護措施
4	建立不同自然災害下的鐵路脆弱度地圖
5	建立不同自然災害下的風險評估與鐵道營運管理機制
6	依據預料的氣候變遷影響提出既有設施與新建設施之調適標準
7	彙整調適策略與措施建議

資料來源：交通部運輸研究所－運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫(107年)。

(三) 國內調適與防災策略概況

我國目前主要之鐵道系統由本部臺灣鐵路管理局（以下簡稱臺鐵局）轄管之東西部幹線、南迴線 3 條主要幹線及其支線和民營臺灣高鐵公司之高速鐵路所組成。本分冊依法規制度面、管理機制面、科技技術面及人才培訓及交流等 4 大構面整理臺鐵局、臺灣高鐵公司當前面對氣候變遷之各項因應作為。

1. 法規制度面

(1) 防災規定

在防災的制度上，臺鐵局係依據「中央災害應變中心作業要點」、「交通部臺灣鐵路管理局災害事故通報作業要點」、「地震發生路線巡查標準作業程序」、「行車事故與天然災害搶修標準作業程序」、「鋼軌高溫處置標準作業程序」等相關災防標準作業程序辦理，並適時檢視及修訂災害應變需要，調整細部規定內容，以因應氣候變遷影響。臺灣高鐵公司依現有災防相關規定，編制「臺灣高鐵整體防救災應變計畫」，做為臺灣高鐵公司、本部

鐵道局及各防救災單位之防救災合作之基礎。每年進行審議及增修，並與各縣市政府及外援單位辦理各項聯合演練。

(2) 規劃、設計及養護規範

由於氣候變遷是國際間重要的課題，在國內也開始著手探討與重視相關的議題。就當前鐵道設施之相關設計及養護規範很多並未將氣候變遷的情境納入考慮，有些規範的內容也不符合氣候變遷下的需求。

- ① 邊坡防護部分，對於可改善之邊坡將透過工程手法改善，無法改善者則加強監測。
- ② 臺鐵局新建置的車站皆以高排水標準進行排水系統的設計，既有車站會調查淹水的原因，透過持續監測與改善排水系統等方式處理淹水的課題。
- ③ 針對橋梁的部分，較為老舊（40-50 年）橋梁的耐沖刷與防洪能力已減弱，由臺鐵局目前刻正執行的行車安全改善計畫（如圖 2.3），將不符合「河川治理計畫」的橋梁（計 15 座）納入進行重建。

另外亦有 208 座橋梁耐沖刷能力不足，會進行局部強化（橋墩補強汰換、基礎加深、河床穩定等），以改善沖刷情況。



圖 2.3 臺鐵 104 至 111 年建設計畫綜合規劃研究流程

資料來源：鐵路行車安全改善六年計畫（104 至 111 年）可行性研究暨綜合規劃報告。

2. 管理機制面

(1) 風險管理機制

風險管理為因應氣候變遷調適與防災的重點，因此如何透過管理方式將風險降低實為重要的課題。鐵道系統為確保行車安全，於沿線高風險路段均會設有相關的監控與監測設施等風險管理設備，例如雨量計、風速計、水位計、邊坡滑動偵測器與 CCTV 等。且鐵道單位為提升風險管理效率，於近年來也建置相關的資訊管理系統，例如中央氣象局開發之 QPESUMS 臺鐵客製化系統。臺灣高鐵公司的防救災應變資訊系統，同時建立了災前、災中與災後的相關風險管理作業標準，如雨量觀測指標與應變作業程序（預警、警戒、行動）。

目前臺鐵局也在「鐵路行車安全改善六年計畫（104 至 111 年）」中進行邊坡的全面調查，分為 3 個計畫，1 為專案管理計畫、2 為委託調查研究與設計監造，3 為邊坡巡檢的制度訂定，制定標準的巡檢制度作業、包含巡

檢的檢查項目與表格、巡檢頻率與方式、巡檢人員的培訓等，以全面管理邊坡的風險。

(2) 災前整備作業

隨著極端氣候所致之災害發生的頻率日益頻繁，為確保既有鐵道系統的行車安全，各鐵道單位應定期針對暨有設施結構物（邊坡、橋梁、隧道、鐵道）安全性進行檢視及管理。

此外，臺鐵局每年汛期前，各工務段均舉辦防汛演練，針對豪雨期間洪水位，按 SOP 派員看守，並實行路線封鎖通報之演練。另臺鐵局各區每年汛期前，亦整合運、工、機、電各單位進行防汛演練，以整合各介面動員之能量。

臺灣高鐵公司為 A 級路權，73% 為高架橋/橋梁結構，部分路段為路堤路塹及隧道結構，故針對可能受災之邊坡、路堤及隧道等路段進行定期檢測及強化工程，強化抗災能力。另建置邊坡即時監測及災害告警系統，隨時掌握風速、雨量及水位等可能致災之自然環境狀況，並

訂定分級應變機制，強化災前整備能力。而臺鐵局的災前整備作業則為建置現地監視系統、汛期高潛勢路段巡查、辦理各類災害事故搶修演練等。

(3) 跨單位調適與防災作為

鐵道系統所面臨的坡災及淹水成因不單純是本身系統的問題，有時來自路權範圍外，例如邊坡崩坍問題可能與鐵道路權範圍上方之坡地管理單位有關；橋梁的沖刷問題與河川的整治有關，上述問題之權責單位至少涉及農委會、河川局、林務局及地方政府，可見鐵道氣候變遷的防災整備極須要跨領域之間的合作。除了坡災、淹水及橋梁沖刷須與以上各單位的聯繫與協調外，針對調適及防救災也需要跨域合作，例如臺鐵局加強與本部鐵道局、公路總局、臺灣高鐵公司及縣市政府、國軍等相關單位之能量整合，強化橫向單位通報聯繫及聯防能力。臺灣高鐵公司依「臺灣高鐵整體防救災計畫」所訂定之 ICS 架構，透過講習、實兵演練及各縣市政府防災會議等機制，強化與各防救災單位之合作能力。

3. 科技技術面

(1) 防災預警系統

為了解與因應氣候變遷所帶來的災害，鐵道管理機關已逐漸重視相關技術的應用。例如臺灣高鐵公司在列車沿線設置天然告警系統(DWS)(如圖 2.4)，包括強風、豪雨、洪水、地震、邊坡滑動、落石等偵測，以提升高鐵對各項災害的預警能力。同時臺灣高鐵公司也建立防救災應變資訊系統，包括列車運行管理系統、災害告警資訊系統、及時災情查報系統以及防災地理資訊系統等。

臺鐵局也利用中央氣象局 QPESUMS 臺鐵客製化系統掌握水利署水情、氣象局雨量、水保局土石流等相關預警資訊，並彙整各段轄區風速測驗器、強震儀等監測資料回報局本部應變中心，做為指揮官指(裁)示「列車停開、行駛」之參考。



圖 2.4 高鐵天然災害告警系統示意圖

資料來源：臺灣高鐵公司。

(2) 防災資訊傳達

在防災預警設施或風險訊息資訊傳遞方面，目前鐵道單位有災害及時告警系統與透過媒體發布風險及災害之訊息，同時也會利用資訊看板、行動 app、細胞廣播服務等傳遞訊息。臺灣高鐵公司已建置防救災應變資訊平台，整合即時偵測、地理資訊、列車及防救災車輛動態

監控、災情查報等功能，應變中心可充分掌握必要資訊以利決策。透過官網、客服中心、T-Express app 推播機制、多媒體電子看板、車站/列車跑馬燈及廣播等科技應用，強化旅客資訊提供與溝通。

(3) 調適及抗災設備、措施及技術

鐵道面對氣候變遷下極端氣候之衝擊時，相關設施的健全是非常重要的，為確保既有鐵道的沿線邊坡穩定、橋梁沖刷及隧道安全，各單位均應定期針對既有結構物的安全性進行檢視及管理，並視需要予以補強與改善。

抗災措施也朝更科技化、更智慧化發展，例如應用地理資訊系統來協助快速掌握災害資訊。臺鐵局為因應鋼軌溫度過高造成的挫屈，裝設軌溫監測器進行監測，並訂定「鋼軌高溫處置標準作業」，以降低極端氣候帶來之風險。

4. 人才培訓與交流面

為因應氣候變遷所造成之災害風險應透過教育訓練加強調適與防災應變能力。例如中央氣象局 QPESUMS 臺鐵客製化系統操作與應用訓練、鐵安演習、高潛勢路段及相關防汛演練等相關措施，持續辦理各類防救災教育訓練，強化同仁本職學能，精進應變作為。臺灣高鐵公司依「臺灣高鐵整體防救災應變計畫」律定各項防、救災應變之合作機制與作業程序，除了強化員工之認知與應變外，亦舉辦多項講習、訓練及演練，強化各縣市政府警、消、醫療等外援單位之合作默契與協同應變能力。

三、商港系統

(一) 背景分析

商港設施比鄰於海，為海岸之門戶，並提供船隻靠泊、貨物裝卸、旅客接駁等相關服務，是水陸運輸網絡之樞紐。現更結合休閒功能，發展親水遊憩觀光設施，成為民眾休閒旅遊好去處，帶動地方發展及繁榮。惟受全球氣候變遷致發生極端天氣事件機率增加，商港面臨之氣候挑戰更不容忽視。檢視極端氣候致使商港致災歷史案例如下：

1. 民國 83 年凱特琳颱風侵襲時，造成高雄港 19 號碼頭因強大的豪雨而導致其碼頭坍塌，岸壁整體沉沒入水，碼頭上之加油設施全毀，油管因而斷裂與位移變形，部分混凝土被推擠散布於離法線 10 公尺外之海床。本部港務局（現改為航港局）於民國 86 年辦理該碼頭改建工程。
2. 民國 94 年 7 月 19 日「長成輪」在海棠颱風風力 13 級強風吹襲下，下午 2 時 20 斷纜，總噸重 3.7 萬噸的「長成輪」從旗津 116 號碼頭，漂移約 400 公尺到對岸的 69 及

70 號碼頭間。高雄港務局緊急出動 4 艘拖船頂住船首及船尾，並派領港員登船協助，在漂移及靠岸過程中仍擦撞對岸美國總統輪船公司貨櫃碼頭的 3 座橋式貨櫃起重機。

3. 民國98年8月份「莫拉克」颱風期間，高雄港區內雖無重大海難事件發生；惟高雄分公司轄管海域內共有7艘船舶因海象不佳、天候惡劣，致造成失去動力或擱淺等海事案件。
4. 民國105年9月14日強烈颱風莫蘭蒂侵襲高雄港，17級陣風將一艘1.4萬噸標準箱全貨櫃輪「風明輪」的繫岸纜繩及防颱纜繩總計38條全部扯斷，船隻失去控制漂離碼頭，出動六艘拖船頂輪護船歷經2小時全力搶救仍不敵強風，船隻還是漂至對岸陽明海運所屬第六貨櫃中心之高明貨櫃碼頭，撞壞兩台全毀與一台半毀的橋式機，預估維修費用高達10億臺幣，對於該碼頭貨櫃裝卸作業與船舶航線調配造成不利影響。同時該強烈颱風造成順天606、富冠606、富冠707及永興發168等4艘漁船隨強風漂出第一港口，擱淺在一港北防坡堤。四艘漁船共22名船員，其中一名船員落海失蹤死亡。

5. 民國107年08月23日豪雨事件，高雄地區因熱帶低氣壓瞬間強風（風力9級），造成7艘貨船漂至高雄外海、臺南外海擱淺，同時豪雨造成嘉義布袋港附近之岑海里淹水，其係因布袋港區地勢較當地區域較高，經長延時強降雨後造成布袋港聯外道路區域淹水。

商港設施分為海域及陸域設施（如表 2.10），近年受氣候變遷之影響，商港設施面臨最大之衝擊為強風、強降雨、暴潮及海平面持續上升等，颱風挾帶之豪雨及強陣風將可能導致碼頭設施及停泊船隻受損；強風及湧浪可能造成船隻斷纜，使其撞擊碼頭設施及其餘船舶，造成財產損失；設備如：起重機以及船隻也會因強風豪雨而有能見度不佳、操作困難等情事發生；突發性強降雨亦可能導致商港區域內或商港聯外道路排水不及而淹水，影響港埠營運作業；海平面上升使商港區域易發生淹水，而港區金屬設備易因海水浸泡容易鏽蝕，使維修及維護成本加增；且因潮水帶來之大量淤泥與沉積物，將使航道淤塞及停航，氣候狀態對商港系統設施可能產生之影響衝擊如表 2.11。

表 2.10 商港海域與陸域設施

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

資料來源：交通部運輸研究所－運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫（107年）。

表 2.11 氣候變遷對商港系統可能產生之影響衝擊

系統	主要災害	可能影響及衝擊
商港	強降雨、強風、暴潮、海平面上升等	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 聯外交通系統因強降雨、淹水受損受阻 ▪ 海域陸域設施設備因強降雨、強風、淹水等受損 ▪ 因暴潮、強風、降雨等船舶無法正常進出、停泊 ▪ 因海平面上升而港區設施設備淹沒 ▪ 航班停航、航道阻斷

註：影響衝擊包含曾實際發生及未來可能發生之衝擊。

資料來源：交通部運輸研究所－運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫（107年）。

另臺灣西部港口大部分位在開放水域，對於因應氣候變遷的調適與防災更為重要，港務公司面對颱風、汛期停泊港區作業的船舶，其強化防災措施相當重要。

（二）國外調適與防災策略概況

為掌握全球氣候變遷調適計畫及發展趨勢，本節綜理國外氣候變遷調適策略，包含美國、日本、香港及新加坡等，供後續研擬調適行動方案參考。

1. 美國

位於美國南加州的長堤港（Port of Long Beach）是北美第2大貨櫃港，僅次於洛杉磯港，長堤港在2016年的吞吐量達678萬TEU²，在全世界排名第21。長堤港於2016年提出「長堤港氣候變遷調適與海岸回復力計畫（Climate Adaptation and Coastal Resiliency Plan, CRP）」（如圖2.5），該計畫所提出之規劃程序：



圖 2.5 美國長堤港氣候變遷海岸回復力計畫規劃程序

資料來源：Port of Long Beach, Climate Adaptation and Coastal Resiliency Plan (2016)

2. 日本

日本沿岸（港灣）之氣候變動影響及其調適方向性檢討委員會於2015年6月發布「沿岸（港灣）之氣候變動影響及其調適的方向性」，該策略針對日本沿岸與港灣目前受到氣候變遷之衝擊進行說明，並歸納調適的方向研擬對應之策略（如表2.12）。

² Twenty-foot equivalent unit: 為貨櫃容量的計算基礎，1TEU 為 1 個 20 呎貨櫃。

表 2.12 日本港灣與商港調適策略

主要項目	調適策略 (△：軟體策略；□：硬體策略)
防波堤等外圍設施及港灣功能	△氣象與海象監測以及因滿潮/大浪而生影響的預測與資訊提供 □繫船設施與防波堤的機能維持(外力及防波堤斷面的再檢討) △□具有堅韌結構的防波堤及防潮堤等之技術開發與建置 △港灣(企業)BCP ³ 的研擬
堤外地(碼頭、貨物裝卸場、產業用地等)	△災害風險的評估及防災地圖等的告知 △可做為應變判斷之相關資訊的分析與提供(包含即時資訊) △□強風下之起重機的逸走對策 □排水功能的確保 △自衛防災的促進
腹地(堤內地)	△海岸安全設施等之防護功能的掌握 △生命週期成本考慮下的最佳更新方式的檢討 △依據災害風險進行土地利用的再檢討 △開發沿岸區域生態系統減災功能之定量評估方法

資料來源：日本沿岸(港灣)之氣候變動影響及其調適方向性檢討委員會，沿岸(港灣)之氣候變動影響及其調適的方向性(2015)。

³ BCP (Business Continuity Planning)，係一套基於業務運行規律的管理要求和規範流程，使一組織在突發事發生時能夠迅速反應，以確保關鍵業務功能持續不造成業務中斷。

3. 香港

受溫室效應影響，21 世紀末香港及其鄰近海域的平均海平面預計將會上升 1.07 公尺，對於香港的低窪地區有極大的災害風險。然而降低港口、貨櫃、人員的損失及傷害即是有效的災害風險管理。香港國際貨櫃碼頭公司在風險管理上的做法分為 4 個步驟(如圖 2.6)。

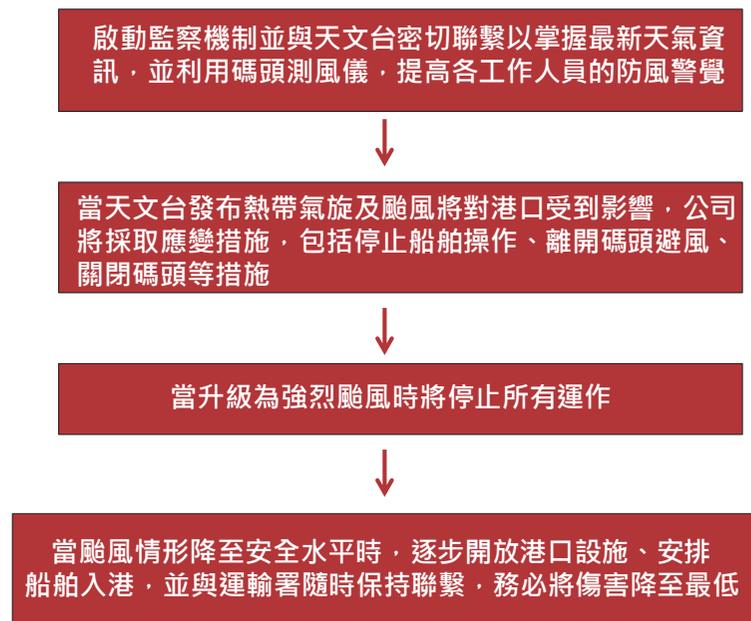


圖 2.6 香港國際貨櫃碼頭公司風險管理架構及步驟

資料來源：香港國際貨櫃碼頭，颱風措施，<https://www.hit.com.hk/cn/Our-Services/Port-Safety/Typhoon-Measure.html> (2018)

香港因商港往往是海水填海造陸興闢，故容易受到洪水影響。依據香港環保局發布的「香港氣候變遷報告 2015 (Hong Kong Climate Change Report 2015)」。

為提升維多利亞港與都市之調適能力，香港政府渠務署投資 27 億美元建設地區性防洪基礎設施，包括地下儲水空間、拓寬河流和大型排水隧道，以做為強降雨及洪水發生時區域排水及蓄水系統調節之用（如圖 2.7）。

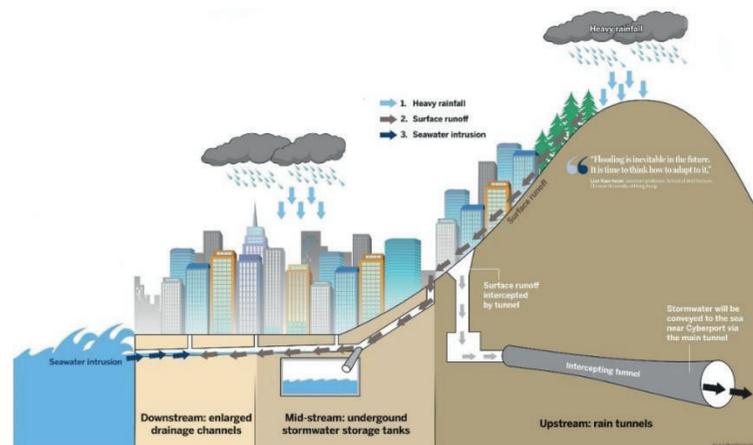


圖 2.7 香港區域排水及蓄水系統用於強降雨及洪水發生

資料來源：Chinadialogue, Bracing for the flood in Hong Kong, <https://www.chinadialogue.net/article/show/single/en/9575-Bracing-for-the-flood-in-Hong-Kong> (2018)

4. 新加坡

新加坡自 1972 年至 2014 年，年均溫已由 26.6 度升至 27.7 度，新加坡國防部長於 2016 年 (MOS Tan, 2016) 指出，新加

坡的海拔高度只有 15 公尺，國家土地約有 30%海拔不到 5 公尺，如果全球氣溫持續上升，海平面預計將在 1 個世紀內上升 1 公尺。

新加坡海事及港務管理局（Maritime and Port Authority of Singapore, MPA）於港區水域提供 4G 網路服務，並推出手機應用軟體「my Maritime@SG」（如圖 2.8），以利海事港務人員能即時掌握各船隻動態及港區現況，藉此能相互聯繫，並確保海域安全。

此外，對於新建的大士航站設施及設備進行升級，將海平面上升最新預測結果納入考量，以提高其面臨氣候變遷之調適能力，將港口整體建設高程設計比平均海平面高 5 公尺。

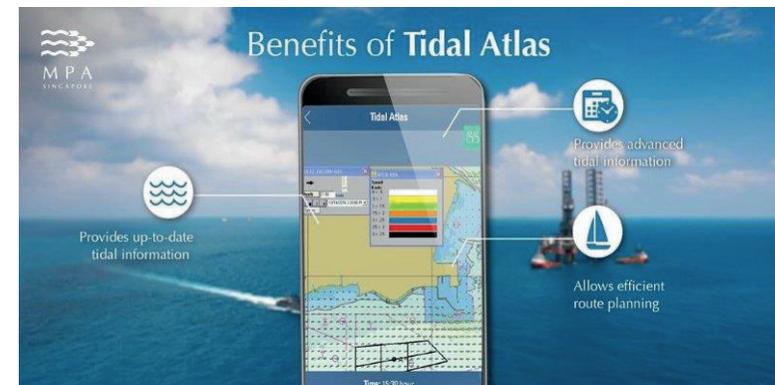


圖 2.8 新加坡海事港務局開發手機應用軟體「myMaritime@SG」
資料來源：Maritime and Port authority of Singapore, Smart Port Solutions（2015）

(三) 國內調適與防災策略概況

行政院核定自民國 101 年 3 月 1 日將原四個港務局改制成立本部航港局（以下簡稱航港局）及臺灣港務股份有限公司（以下簡稱港務公司），前者專責辦理航政及港政公權力事項，為航運與港口之監理機關，後者朝向「公司化」，統轄基隆、臺中、高雄及花蓮四個港務分公司，專營港埠經營業務，以提升港埠經營效能。

依「商港法」第 2 條規定，商港之經營及管理組織分為國際商港及國內商港，其中國際商港由主管機關（本部）設國營事業機構經營及管理；管理事項涉及公權力部分，由航港局辦理；國內商港則由航港局或行政院指定機關（以下簡稱指定機關）經營及管理。目前我國國際商港部分，包括基隆、臺中、高雄、花蓮、蘇澳、臺北、安平港等七個國際商港，由港務公司及其分公司所經營管理；國內商港部分，布袋、澎湖港由航港局委託港務公司代為經營管理，金門、馬祖港，由行政院指定金門縣政府及連江縣政府管理。本分冊「商港系統」係指航港局及港務公司轄管之國際、國內商港。

1. 法規制度面

(1) 防災規定

「商港法」第 41 條「商港經營事業機構、航港局或指定機關應擬訂災害防救業務計畫，報請主管機關核定之。前項計畫應定期檢討，必要時，得隨時為之。商港區域內發生災害或緊急事故時，商港經營事業機構、航港局或指定機關得動員商港區域內各公民營事業機構之人員及裝備，並應配合有關機關之指揮及處理。商港區域內各公民營事業機構應配合商港經營事業機構、航港局或指定機關實施災害防救演習及訓練。」。爰港務公司依規定每二年辦理「災害防救業務計畫」檢討、修正工作再報請本部核定，業務計畫核定後，各港務分公司依業務計畫原則及各港口特性再行編訂各類情境緊急應變計畫，如有因應颱風、海嘯、石化儲槽管線災害，生物病原災害及複合式災害等緊急應變計畫，藉由各種緊急應變計畫、定期執行特定情境演習、演練方式，以利災害發生時，各相關人員應變措施得宜，降低港區災損、減少

人員傷亡。

(2) 商港調適相關規定及執行情形

國際海事組織(IMO)海洋環境保護委員會(MEPC)於民國 105 年會議決議修訂「防止船舶污染國際公約(MARPOL)」⁴規定目前船舶使用燃油含硫量限制在 3.5%以下，至民國 109 年以後，燃油含硫量應低於 0.5%。

港務公司自民國 102 年開始推動綠色港口，目前臺灣港群七大國際商港均通過生態港認證，為因應日趨嚴格的減排限制並達成行動綱領願景之精神，本部於民國 107 年 1 月 25 日發布公告，先行預告我國提前於民國 108 年 1 月 1 日起，國際航線船舶進入本國國際商港區域者，應採用含硫量 0.5%以下之低硫燃油或具有同等減排效應之裝置或替代燃料，同時亦配合行政院核定之「空氣污染防制行動方案」，研定「國際商港空氣污染防制方案」，

透過推動船舶進出港減速、船舶使用低硫燃油、岸電設施擴大使用及執行港區施工機具(械)減污等多項具體防制措施，降低及管理港區船舶排放量，截至民國 107 年底執行成效說明如下：

- ① 岸電設施擴大使用：港勤船全面使用低壓岸電，高雄港高壓岸電使用 46 艘次。
- ② 船舶進出港減速：船舶減速達成率 46.9%，較 106 年同期提高 6.4%。
- ③ 船舶使用低硫燃油：配合航港局推動「國際商港提前使用低硫油品獎勵」，合格獎勵案件共計 746 件。
- ④ 港區施工機具(械)減污：目前 7 大國際商港自營櫃場及主要貨櫃場機具全面電動化，未電動化機具(械)則使用低硫高級柴油。

⁴國際海事組織(IMO)海洋環境保護委員會(MEPC)於 105 年 10 月第 70 次會議通過之 MEPC.280(70)決議案，修訂「防止船舶污染國際公約(MARPOL)」附則 VI「防止船舶空氣污染規則」第 14.1.3 條之規定。

(3) 港灣構造物設計基準及相關規範

港灣構造物設計基準目前係依據本部於民國 85 年頒布「港灣構造物設計基準—防波堤設計基準及說明」、民國 102 年頒布「港灣構造物設計基準—碼頭設計基準及說明」及營建署之建築技術規則辦理。

2. 管理機制面

商港需由航港局、港務公司及指定機關等與公民營事業機構共同管理，其調適及防災措施亦應橫向協調，隨科技發展與時俱進並適時滾動檢討、建立跨域合作機制，始能達成永續目標。

(1) 風險管理機制

- ① 各港務分公司依據各港區環境特性不同，因地制宜制訂其所屬防災及管制規定，包括滯港船離開內港、港口加強巡檢及加強繫纜等。
- ② 各港口 VTS 塔台、接受應變中心指揮於劇烈天氣下進行港口船舶進出港管制措施。
- ③ 經評估全球化氣候變遷影響，颱風災害為較易致生

災害類型，港務公司訂有風災（含水災）防救作業要點並每年 4 月底前辦妥防汛、防颱整備作業。

- ④ 港務公司自民國 103 年起配合行政院國土安全辦公室辦理國家關鍵基礎設施調查盤點，「國家關鍵基礎設施防護指定演練」工作係由國土安全辦公室指定演練港口、相關港務分公司配合辦理之，105 年於高雄港、106 年於臺中港、107 年於基隆港、108 年於花蓮港依序辦理完成。
- ⑤ 防災預算編列部分：港務公司民國 108 年營業成本預算預估約 95.9 億，其中規劃屬於災害風險管理財政預算部分約占總預算 6.5%，「港灣費用」及「維持費用」等 2 項預算科目為主要辦理防救災業務工作之經費科目，支應內容包含港灣構造物新建、再建工程、船席、碼頭、道路排水溝疏通、船舶交通服務系統（VTS）及即時影像監控系統（CCTV）維護費、專業服務費、機具保險、演習、搶修搶險、委託檢驗試驗費、賠償給付等項目，其預算分配情形詳表 2.13。

⑥ 資產管理部分：港務公司資產均依「財產管理要點」辦理，建置「ERP-資產管理模組」及「BPM 流程管理」等資訊系統協助管理作業，並利用「內部控制制度」管控財產管理、風險分攤作業，於災害發生後，迅速進行災損評估分析工作。

表 2.13 108 年港務公司災害風險管理財政預算分配情形

營業成本：9,591,558		單位：千元
港灣費用	修理保養及保固費	70,996
	保險費	5,156
	棧儲、包裝、代理及加工費	323,893
	專業服務費	21,248
	材料及用品費 -使用材料費	8,780
	損失與賠償給付	700
	其他（防救災演習）	2,172
維護費用	修理保養及保固費-土地改良物維護費	135,015
	保險費	5,928
	棧儲、包裝、代理及加工費	50,650
災害風險管理財政預算（合計）= 624,538 千元，比率 6.5%		

資料來源：108 年度臺灣港務股份有限公司附屬單位預算（表為本分冊彙整）。

(2) 災前整備作業

各港分公司依其港區特性各自訂定相關防颱作業及管制措施，於災前辦理港區巡視（包含港埠設施、施工機具及車船機、鷹架繫固等海陸巡檢作業等）、各港口管制措施（依規定驅離滯港船、加強繫纜），並針對港灣構造物進行災前「特別巡查」，依據各港口既有之災害防救業務計畫，以管理手段進行災前巡檢及整備。

另考量臺灣西部港口位置屬開放水域且鑒於 107 年 823 豪雨事件，高雄港錨泊區之 7 艘貨船漂流至高雄、臺南外海等處擱淺事故，港務公司於 108 年 1 月新訂「國際商港錨泊使用管理規定」（包含「強化颱風及熱帶性低氣壓預警機制」），據以做為各港對其港口錨泊區作業船舶，採取防災應變管制措施之依據。

經歷史案例及災害分析結果，強風（或颱風）對於商港衝擊最大，船隻繫纜穩健與否尤為重要，港務公司對於防颱期間停泊碼頭之船舶，其加強繫纜作業基準（以高雄港為例）如下：總噸位未達 1 萬者，艙、艙繫纜各

應至少 5 條（含倒纜）；總噸位 1 萬以上者，艏、艉繫纜各應至少 7 條（含倒纜）。航港局為防範斷纜事件，則訂定繫纜指南函送各港務公司及港務分公司參考。

(3) 跨單位調適與防災整備

航港局汛期前成立督導小組，汛期時對於商港區域外貨櫃集散站會派員巡視堆疊、繫固工作，對於公民營業者防颱防汛準備督導，加強各單位聯繫、宣導工作；颱風期間派員在行水區進行督導繫固工作，防颱時會派員上船檢視港內船舶留守人數是否符合標準。

港務公司汛期前與各相關單位（航港局、海巡署、航商業者、港警、港消、海關及引水人辦公室）定期召開聯席會議與相關演習、演練，增進各單位間橫向溝通、協調工作。緊急應變手冊內各單位人員名冊、通訊資料每年定期於汛期前更新 1 次。

3. 科技技術面

(1) 防災預警系統

港務公司獲取即時海象觀測資料及防災預警資訊，

主要以各港區船舶交通服務中心（VTC-Vessel Traffic Center）塔台設置之海象監測點、中央氣象局即時簡訊系統（含地震）、運研所開發之「港灣環境資訊網」等管道為主。

為因應未來商港區域遇強降雨、強風致災風險提高，港務公司依據國家災害防救科技中心提供之災害潛勢圖資對各國際港進行圖層套繪，掌握各國際港災害潛勢區域，並於民國 106 年起與中央氣象局合作推出客製化「劇烈天氣監測系統」(QPESUMS)查詢資訊，於颱風期間或發生劇烈天氣重要關鍵時機，系統將縮減風雨預報發布更新時距，由原 6 小時預報資料調整為逐 3 小時預報；民國 108 年，港務公司規劃增設海氣象資料警戒值，當劇烈天氣發生時期，可提供預警燈號顯示功能並結合行動應用程式(app)傳遞防災資訊。

另與運研所合作辦理「海氣象及應變即時展示系統維運計畫」，整合港區各項即時海象資訊、開發即時海象資料展示平台，供港務公司作平日管理、汛期防災使

用；在精進港區巡檢措施方面，採取擴大運用無人航空載具(UAV)實施以提升港區設施巡檢效率，並利用智慧監控系統(如：CCTV)以確實掌握港區各區域實況。

為提升船舶航行安全，減少海難發生，強化海難救助，監控我國海域交通流，航港局利用自動識別系統（Automatic Identification System，AIS），自民國 107 年 10 月底在全國燈塔建置 14 座 AIS 基站、19 座 AIS 航標臺，並借海岸巡防署安檢站為輔，達到沿岸 20 浬海域範圍資訊涵蓋率 100%之效能，民國 108 年起則辦理強化船舶自動辨識系統（AIS）接收裝置並納入氣象局海氣象預報情資推播功能，當海、氣象惡劣、視線不良時，可有效掌握船舶即時狀態，配合防災應變機制，快速且正確協助到（離）港船舶及引水人。

國際海事組織 IMO 規範，強制要求所有客船及 300 噸以上國際線貨船與 500 噸以上國內線貨船，均應裝設 AIS。本部於民國 107 年 7 月公告修正「船舶設備規則」，強制凡 20 噸以上的各式船隻都須裝設 AIS，AIS 可精準

掌握我國籍的 4,300 艘總 20 噸以上的船舶，以及航行我國海域的非我國籍、裝有 AIS 船載台的船舶在 20 浬以內所有的航速與航向，適時啟動避碰及避險等措施，對於偏離航路或是近岸航行、可能有航行險的船舶，可及早提出示警，並即時啟動應變機制。經由各相關單位相互配合、協助發展與精進各項防災預警系統、設施及設備，大幅提升商港區域整體防災應變效能。

(2) 防災資訊傳達

為維護港區安全，各港務分公司都有設置專屬的防災救護體系，其重大災害通報作業程序主要分為兩個部分，一為公司內部的應變通報流程，二為區域聯防的應變，其重大災害通報作業程序如圖2.9。

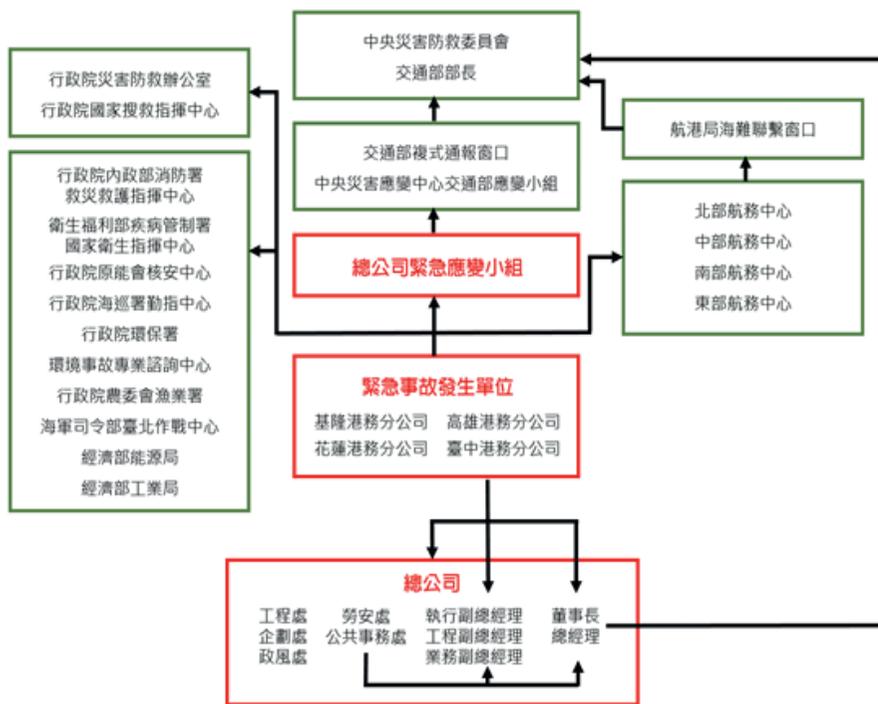


圖2.9 臺灣港務公司重大災害通報作業程序

資料來源：臺灣港群電子報（107年8月）。

航務局及港務公司自民國105年的莫蘭蒂颱風重創高雄港事件召開檢討會議，建立了相關聯繫窗口及通訊應變群組，做緊急橫向連繫使用；若需中央協助，則通報中央應變中心。

港務公司與各港務分公司之間則建立緊急應變群組，各

港務分公司與各港區公民營業者成立港區聯防支援體系及緊急聯絡通訊群組。藉此，強化港區各單位及業者彼此間聯繫能力。

(3) 港埠設備、措施及技術更新及強化

依行政院核定之「政策綱領」及「國家氣候變遷調適行動計畫 102-106 年」，港務公司積極辦理包括「碼頭面高程總體檢與改善方案可行性研究（高雄港）」、「既有碼頭檢測及改善評估計畫（臺中港）」、「維生碼頭規劃可行性評估（基隆港西 22、23 號碼頭）」等 3 項調適工作，後續亦持續進行各港老舊碼頭維修補強及改建作業。

另與運研所合作辦理「腐蝕環境分類及港灣構造物腐蝕劣化調查研究」，探討因氣候之改變，環境的高溫、高溼與高鹽份、大氣中的各式氣體會加劇港區構造物的銹蝕，故該計畫係針對港區之金屬材料以及碼頭與防波堤等設施進行調查並對於相關之維護管理、維修工法、管理系統等提出相關建議。

爰因應氣候變遷造成降雨、陣風有強度增強、海平

面持續上升、海水持續酸化等趨勢，目前港務公司因應作為整理如下：

- ① 建置維生碼頭如基隆港西 22、西 23 碼頭；臺中 5A、5B、106 碼頭；高雄 74 碼頭；臺北港 S09 碼頭，並適時檢討修正。
- ② 加強既有碼頭排水設施設計，辦理新建（或改建）碼頭及防波堤工程時，提高碼頭、防波堤設計高程、增加碼頭繫纜及承載能力。
- ③ 加強港灣水下構造物巡檢頻率，倘發現有腐蝕狀況立即施作抗腐蝕工作，維護水下構造物抗腐蝕能力。

4. 人才培訓與交流面

在防災人員教育訓練部分，港務公司依各項災害緊急應變計畫每年至少辦理 4 次防救災相關講習，汛期前與各相關單位及港區公民營業者辦理演習、演練並積極參與其他單位演習，互相觀摩學習。未來商港系統所有人員應加強對於氣候變遷調適認知之教育訓練。

四、機場系統

(一) 背景分析

機場是國家出入之門戶大關，而航空產業對氣候之敏感度以及安全性皆高於其他產業，因此面對氣候變遷所帶來之天氣災害，更需兢兢業業。氣候變遷的主要現象包括氣溫上升、降雨型態改變、海平面上升、極端天氣事件發生的強度與頻率升高等（如表 2.14）。

近年氣候的急遽變化，對於機場空、陸側設施（如表 2.15）已產生諸多影響，例如突發性之強降雨使跑道排水不及，造成跑道面有雨水滯留，影響跑道摩擦係數；鋒面雷雨和氣團雷雨引致之密集落雷，造成無線電線路干擾、通訊中斷，甚至發生雷擊擊穿跑道、損毀設施之情形或可能危及空側作業人員；對流改變造成濃霧現象增加，影響塔台及其能見度；海平面上升，使低窪地區機場增加淹水及泛濫可能；氣候異常高溫，機場管理單位為因應溫度的上升，使空調等能源需求提升，增加溫室氣體排放量，加劇溫室效應及熱島效應。

表 2.14 氣候變遷對機場系統可能產生之影響衝擊

系統	影響衝擊
機場	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 空側設施因雨水沖刷或沖擊、強風、高溫影響而受損 ▪ 陸側設施及客貨運業務因雨水沖刷或沖擊、強風、淹水而受損或無法作業 ▪ 航機因強降雨、跑道積（淹）水、強風、落雷、濃霧而無法正常起降 ▪ 機場聯外道路淹水或落石、坍方 ▪ 臨海系統設施因暴潮淘刷及沖擊而受損 ▪ 臨海系統設施因海平面上升而被淹沒

表 2.15 機場空側與陸側設施

設施	設施分類	內容
空側設施	航機活動區	跑道、滑行道、停機坪
	助導航設施	塔臺、儀降系統、燈光系統、指示牌等
	消防與救援	消防車、醫護車、其他救援設備
陸側設施	客運大廈	旅客報到、行李託運櫃台、安檢、海關等、其他旅客設施
	貨運站區	進、出口倉、機放倉、冷凍庫等
	交通與聯外	停車場、機場列車、聯外道路運具

註：影響衝擊包含曾實際發生及未來可能發生之衝擊。

資料來源：交通部運輸研究所－運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫（107 年）。

氣候變遷造成之極端天氣現已影響全世界，於 2019 年 1 月底席捲美國中西部之極地渦漩，根據美國國家氣象局（NWS）表示，芝加哥 1 月 30 日上午 6 時測得攝氏零下 22 度低溫，隨寒風效應，溫度持續下降至零下 45 至 55 度；明尼蘇達州彭斯福特（Ponsford）等地，更測得攝氏零下 31 至 66 度的歷史低溫，達到比南極均溫還要冷的低溫，而冰凍低溫影響飛機加油程序，造成伊利諾州芝加哥兩大機場—海爾國際機場（O'Hare International Airport）、中途國際機場（Midway International Airport）取消近 60% 逾 2,000 次航班；中西部與東北部等地，總計則有 3,500 多個航班取消。

颱風侵襲之頻率及強度上升，所帶來的強風及充沛雨量，直接衝擊機場航班起降作業、內部營運及設施設備，例如 2018 年 9 月 5 日侵襲日本關西機場的燕子颱風，所挾帶之狂風豪雨，導致海水倒灌溢淹機場跑道、對外跨海連絡橋遭船隻撞毀，直接造成機場交通及運作癱瘓，並超過 3,000 名以上旅客受困機場（災害事件照片如圖 2.10）。



圖 2.10 美國、日本惡劣天氣狀況影響機場營運
（上）美國芝加哥機場（下）日本關西機場

資料來源：（1）TVBS news：<https://news.tvbs.com.tw/world/1075885>；
（2）達志影像路透社；（3）美聯社。

而我國機場最常經歷、影響最大之天氣事件為颱風，以下整理各機場近5年颱風事件影響及其因應措施(如表2.16)。

表 2.16 我國機場 2013~2017 年颱風事件彙整表

機場	區域	颱風事件(年月)	事件影響	因應措施
臺北國際航空站	北部	蘇力颱風(201307)、非特颱風(201310)、麥德姆颱風(201407)、尼莎颱風(201707)、泰利颱風(201709)	航班延遲與取消	待影響稍緩後恢復飛航作業(立即)、轉降其他機場(立即)、等候安排其他班機(立即)、提升維護與管理的機制(短期)
臺灣桃園國際機場	北部	蘇力颱風(201307)、天兔颱風(201309)、非特颱風(201310)、麥德姆颱風(201407)、蘇迪勒颱風(201508)、杜鵑颱風(201509)、梅姬颱風(201609)、尼莎颱風(201707)、海棠颱風(201707)、泰利颱風(201709)	航廈淹水	積水排除(立即)、航班轉降(立即)、工程改善(短期)、檢討(短期)
			航班延遲、取消	等候安排其他班機(立即)、航班轉降(立即)
			設施受損	修復作業(短期)
臺中國際航空站	中部	蘇力颱風(201307)、潭美颱風(201308)、泰利颱風(201709)	機場暫停營運	將旅客運輸至其他機場(立即)
			航班延遲與取消	待影響稍緩後恢復飛航作業(立即)、等候安排其他班機(立即)
			航廈淹水	工程與定期巡檢(短期)

臺南航空站	南部	莫蘭蒂颱風(201609)	航班延遲與取消	待影響稍緩後恢復飛航作業(立即)、等候安排其他班機(立即)
高雄國際航空站	南部	潭美颱風(201308)、杜鵑颱風(201509)、莫蘭蒂颱風(201609)、尼莎颱風(201707)、天鵝颱風(201708)、海棠颱風(201707)、泰利颱風(201709)	航班延遲與取消	待影響稍緩後恢復飛航作業(立即)、等候安排其他班機(立即)、轉降其他機場(立即)
			航廈淹水	緩坡工程作業(短期)
			聯外道路中斷	替代道路(立即)
			設備受損	修復作業(短期)
臺東航空站	東部	尼伯特颱風(201607)	航班延遲/取消	待影響稍緩後恢復飛航作業(立即)、等候安排其他班機(立即)
馬公航空站	外島	蘇力颱風(201307)、杜鵑颱風(201509)、海棠颱風(201707)、泰利颱風(201709)	設施損壞	工程修復(短期)
			航班延遲/取消	待影響稍緩後恢復飛航作業(立即)、等候安排其他班機(立即)
			聯外道路淹水	排水處理(立即)
			設施毀損	修復工程(短期)
金門航空站	外島	蘇力颱風(201307)、泰利颱風(201709)	航班延遲與取消	等候安排其他班機(立即)
			設施損壞	修復工程(短期)

資料來源：交通部運輸研究所－運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫(107年)

(以上表格航空站僅列乙等(含)以上)。

(二) 國外調適與防災策略概況

為掌握全球氣候變遷調適計畫及發展趨勢，本節綜理國外氣候變遷調適及防災策略，包含美國、香港及新加坡等，供後續研擬課題、策略及短中長期行動方案參考。

1. 美國

(1) 美國運輸研究委員會 (TRB)

根據 TRB 在 2012 年出版的「機場氣候變遷調適與回復力」(Airport Climate Adaptation and Resilience) 報告指出，大約有 70% 的航班延遲係因天氣因素。近年來因強降雨、暴風與霜雪等劇烈天氣事件的頻率增加，更劇烈影響航班的可靠度與機場營運、使用者便利性並造成經濟衝擊。

雖大部分的航班延遲原因與天氣因素有關，但美國大部分的機場尚無將氣候變遷之影響納入營運的考量，故 TRB 鼓勵機場營運單位建立有效的氣候變遷調適策略，並將調適策略納入機場長期計畫（如表 2.17），藉以提高現有的資產維護與改善作業及相關數據蒐集的效益。

表 2.17 氣候變遷對機場影響及相關調適與防災策略

災害類型	影響	策略
強降雨	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 航班延遲與取消 ▪ 乘客與機場人員進出不便 ▪ 跑道或其他設施淹水損壞 ▪ 跑道鋪面排水系統損壞 ▪ 導航與起降系統淹水損壞 ▪ 能見度低而造成航班延遲 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 改善鋪面與排水設計（年限） ▪ 保護既有與脆弱的設施 ▪ 改善氾濫區的土地使用規劃 ▪ 從目視飛航規則切換到儀器飛航規則
均溫上升	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 空氣密度改變影響飛機起降效能 ▪ 能源需求與溫室氣體排放增加 ▪ 水泥鋪面收縮龜裂 ▪ 輪胎過熱造成飛行場受損 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 加長跑道 ▪ 部分鋪面訂定載重規範 ▪ 優化維護策略與設計規範 ▪ 更換道路與空橋的伸縮縫 ▪ 研究鋪面新材料
海平面上升	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 海岸侵蝕與氾濫 ▪ 海平面上升與暴風雨頻率增加導致淹水與氾濫的機率增高 ▪ 海鹽對飛機場造成損壞 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 利用堤防保護機場建設 ▪ 架高重要設備 ▪ 未來設計規劃機場時應依氣候變遷情境考量海平面上升

資料來源：Baglin, Chris, “Airport Climate Adaptation and Resilience”, Transportation Research Board, Vol. 33 (2012)

(2) 美國聯邦航空管理局 (FAA)

美國聯邦航空管理局在 2015 年發布 ACRP (Airport Cooperative Research Program) 第 147 號報告：氣候變遷調適規劃：機場風險評估 (Risk Assessment for Airports)，其目

的在協助機場從業人員了解氣候變遷可能對機場造成的具體影響，以制定計畫。

氣候變遷對機場的影響程度取決於氣候變遷程度、機場區位、機場的事前準備工作以及既有基礎設施的容受力或設計標準等。透過圖 2.11 的架構可制定、實施和檢討機場的氣候變遷調適與防災計畫，從初期界定利害關係人，至最終了解氣候變遷的影響範圍，實施一套完善相應的計畫。

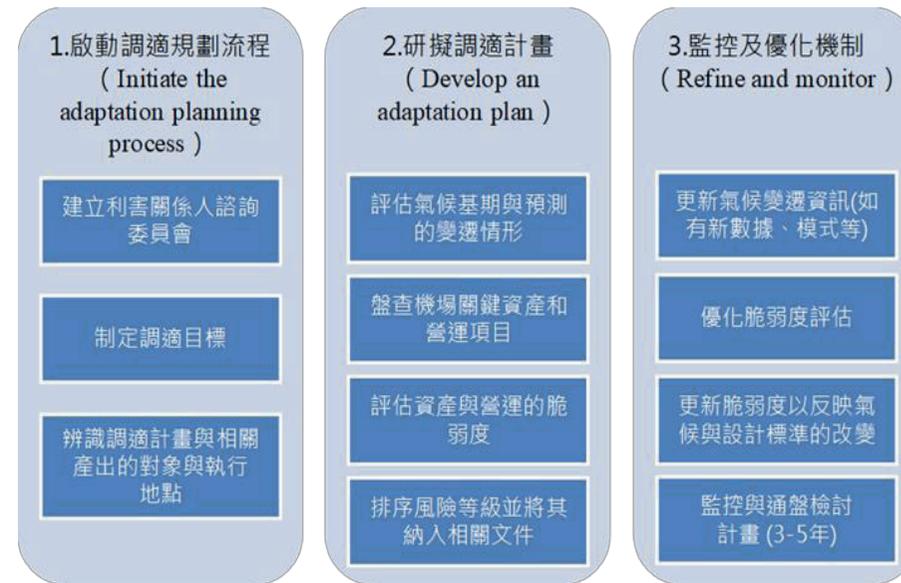


圖 2.11 FAA 建議之機場調適計畫研擬步驟

資料來源：Marchi, Richard, “Climate Change Adaptation Planning: Risk Assessment for Airports”, No. Project 02-40 (2015)

2. 香港

因香港機場為填海造陸所闢建，故機場的跑道容易受洪水侵襲，雖然香港機場目前高於海平面平均約 6.7 公尺，但如未來颱風強度持續增加，受到洪水影響的程度亦隨之提高，相關影響包括飛機的損壞、航廈的毀損及乘客的延誤，極端天氣事件頻率的增加也可能導致潰堤、淹水事件增加等，故透過風險管理與相關策略可提高資產及基礎設施的抵抗能力，亦能強化社會間的合作及連結。

香港機場所採取策略之一係在規劃階段將氣候變遷情境納入考量，如規劃建設第 3 跑道時，依據香港沿岸與機場周邊等沿海地區有海平面上升及洪水侵犯的機率，興建一 21 英尺的海堤和專為未來洪水而設計的排水系統（採 100 年淹水重現期）（如圖 2.12）。

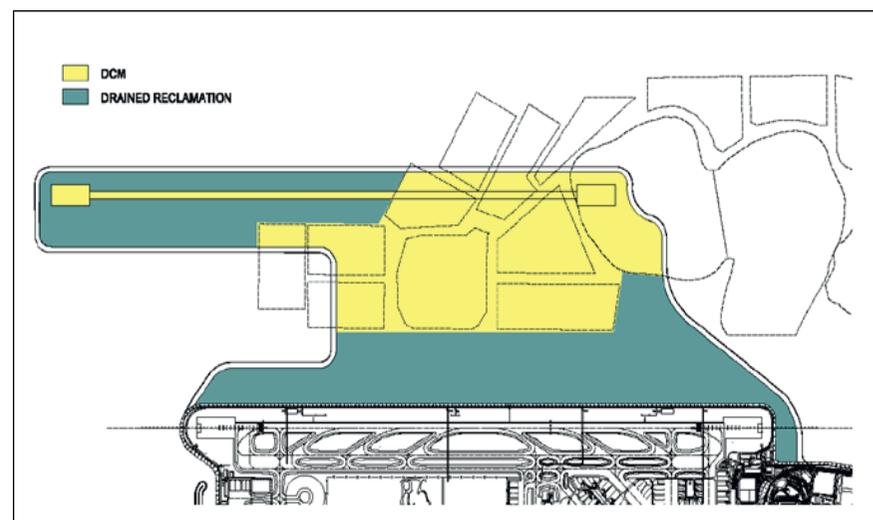


圖 2.12 香港機場第三跑道排水系統建置工程

資料來源：Airport Authority Hong Kong, Hong Kong International Airport 2030, (2010)

除機場設施本身外，其聯外道路亦為重要的設施，香港政府定期維護邊坡與加強邊坡回復力（enhance resilience），尤其在短延時強降雨的情況，政府亦有研擬對應的邊坡管理準則與工程諮詢服務提供給私人管理的邊坡，以提高其在氣候變遷下的回復力。香港政府在機場主要聯外道路的邊坡設置邊坡屏障（debris-resisting barrier）（如圖 2.13），以阻擋強降雨

時造成之邊坡坍塌，屬於工程方面之策略。



圖 2.13 香港機場主要聯外道路旁的邊坡屏障

資料來源：Hong Kong Environment Bureau, Hong Kong's Climate Action Plan 2030+ (2017)

3. 新加坡

新加坡因位處熱帶地區且為低窪的小島，為氣候變遷下最脆弱、影響最劇的地區之一。依據新加坡大學在 2010 年的研究報告，如全球氣溫上升超過攝氏 2 度，樟宜機場、裕廊島 (Jurong Island) 和部分西海岸地區將因海平面上升而被淹沒在水平面下 (如圖 2.14)。

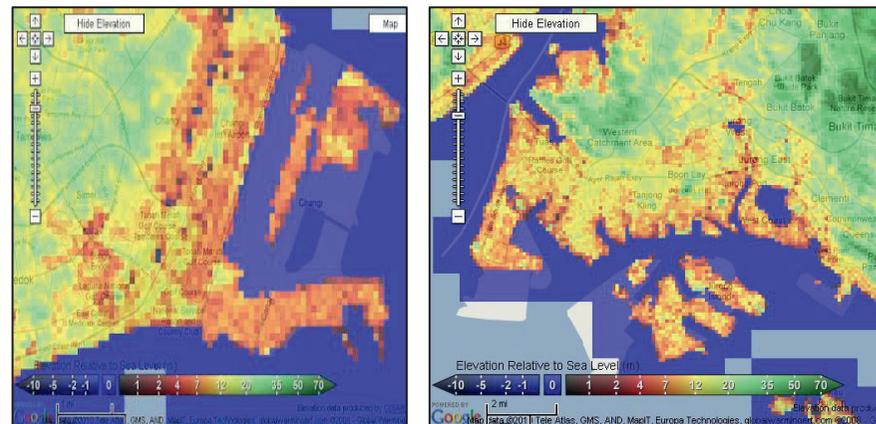


圖 2.14 新加坡樟宜機場及其附近地區海拔高層分析

資料來源：NUS, Shore of Singapore, <http://wildshores.blogspot.tw/2010/03/sea-level-rise-in-singapore-what.html#.WtlhVYhuaUk> (2018)

新加坡在國家發展部 (MND)、環境及水資源部 (MEWR) 群策規劃下，制定一個以「韌性國家」為主架構的方針「氣

候行動（Climate Action）」，來指導氣候變遷下如何進行相關作為，該架構有助於掌握國家人民和財產的風險狀況，並依此研擬調適與防災計畫。

「氣候行動」針對風險管理列出 5 大步驟（如圖 2.15），依序包含「監控與檢視」、「評估風險」、「制定調適路徑」、「建立調適計畫優先次序」及「執行計畫」。

- ① 監控與檢視：持續監控與檢視氣候變遷所帶來之影響。
- ② 評估風險：依據氣候變遷所產生之風險等級進行評估，並依據氣象科學之發展進行分類。
- ③ 制定調適路徑：依據風險類別制定可持續調整並具彈性的調適計畫方案。
- ④ 建立調適計畫優先次序：因調適計畫有時程與成本上的差異，故針對調適計畫評估其優先執行順序，以利計畫順利執行。
- ⑤ 執行計畫：執行調適計畫。

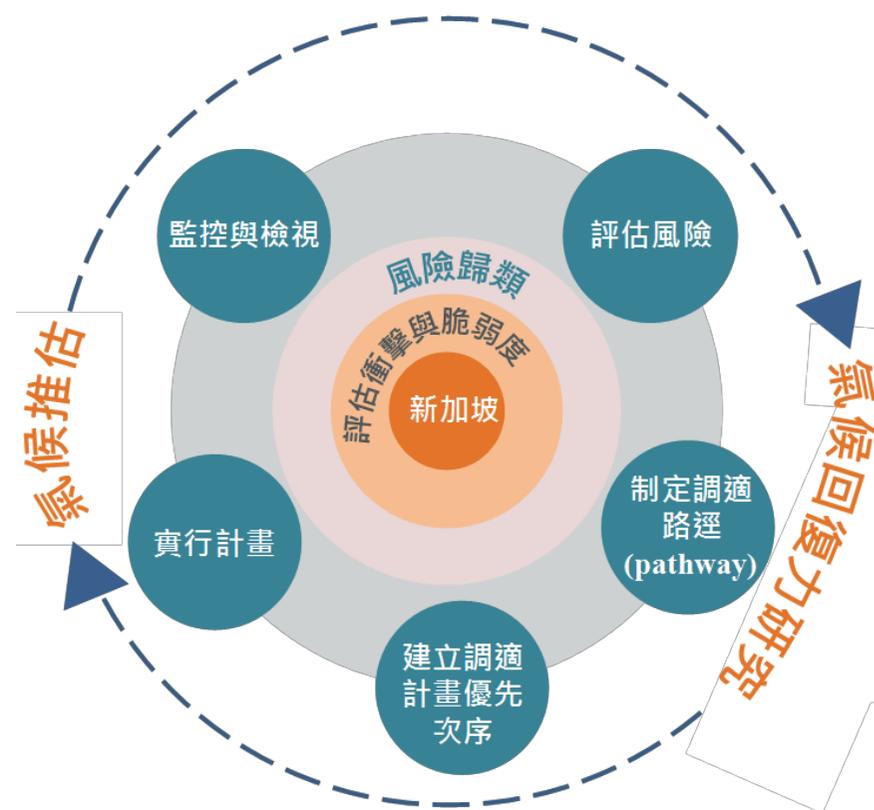


圖 2.15 新加坡風險管理及行動方案架構

資料來源：Ministry of the Environment and Water Resources & Ministry of National Development, For A Sustainable Future-A Climate Resilient Singapore (2016)

(三) 國內調適與防災策略概況

依「民用航空法」定義「航空站」為具備供航空器載卸客貨之設施與裝備及用於航空器起降活動之區域。故航空站除了設置航廈、倉儲提供載客與載貨之多元服務外，塔台、跑道等亦用於航空器起降活動服務。

本部民用航空局（以下簡稱民航局）將航空站依旅客人次與起降班次，分為 5 個等級，包括甲等航空站 2 個（臺北與高雄國際航空站）、乙等航空站 6 個（臺中國際航空站以及臺南、臺東、花蓮、馬公、金門航空站）、丙等航空站 1 個（嘉義航空站）、丁等航空站 7 個（恆春、綠島、蘭嶼、望安、七美、北竿以及南竿航空站），因桃園國際機場以國營事業形式直隸本部，不屬民航局管轄，故不適用等級區分標準。

本分冊依法規制度、管理機制、科技技術及其他等四大構面整理民航局、桃園國際機場股份有限公司（以下簡稱桃機公司）當前面對氣候變遷之各項因應作為。

1. 法規制度面

(1) 防災規定

民航局自民國 91 年起，即依據中央法令（「災害防救法」、「災害防救基本計畫」等）頒布各類災害緊急應變處理作業程序及災害緊急通報作業要點，並由轄下各機場檢視自身地理條件狀況、或配合相關政策，進行前述法規適用之修訂後報民航局備查。

(2) 規劃、設計及維護規範

民航局為使我國民用航空機場空側設施與作業符合國際標準，於民國 92 年起參酌國際民用航空公約及國內機場現況，訂定「民用機場設計暨運作規範」，目前最新版已於民國 108 年 4 月 30 日頒布實施。內容針對跑道、滑行道、停機坪、助航設施等規劃、設計及維護方式加以規範，並對剛性、柔性鋪面之強度等評估進行律定，其中對於跑道之檢查提到：「當跑道表面狀況因氣象條件可能產生重大改變時，應執行額外檢查。」，並建議機場設計應將土地使用及環境控制措施納入考量。

除此之外，機場內部有訂定相關設施（備）檢修標準流程及頻率，像飛機跑道檢修分為每天定期以及接獲通報後之出勤，跑道剛性鋪面伸縮縫五年達到即更換等。

另外，民航局及桃機公司依「國家氣候變遷調適行動方案（107-111 年）」各提出以下兩項策略，以針對氣候變遷下設施韌性較不足處，來強化其耐候力。

- ① 因氣候變遷使海平面上升造成海水溢淹的問題，目前僅金門尚義機場有一處較低窪的地區會受到海浪侵蝕，目前民航局以海堤工程進行維護，加強耐受能力，未來將賡續以工程的作為進行加強。
- ② 目前桃機公司在第三跑道則使用 200 年洪水重現期的標準進行設計；新建置的塔臺亦採較高的標準，防止風速太高造成塔臺晃動情形。

2. 管理機制面

(1) 風險管理機制

在所有交通運輸工具中，航空運輸對安全要求最高，故各機場依據民航局頒布之「安全管理系統手冊」（如圖

2.16），定期召開安全工作小組會議，並針對可能產生的危害提出風險控管策略，且指定負責單位持續追蹤列管，並對預期目標值進行評估及修正。



圖 2.16 民航局安全管理系統

資料來源：民航局-安全管理系統手冊。

目前桃機公司參考國際民用航空組織 ICAO 的方法與流程，在事件發生後或與現況作業有異時，即召集相關單位人員分組並進行危害分析與風險評估，就事件本身之發生

因子及責任歸屬，召開工作會議並就規範面以使用者角度進行檢討。例如跑滑道設施有異動或修改會請飛航服務總臺塔台人員與飛行員等參加。安全委員會下設航務分組、工程分組、野生動物防制分組、維護分組等 4 分組，每 3 個月召開分組會議，安全委員會則是每 4 個月召開 1 次，分組成員會將危害分析與風險評估成果提送安全委員會，委員會再將成果提供給航空公司、地勤公司等成員，共同探討原因，取得共識後再精進後續作為，讓機場營運更安全。

(2) 災前整備作業

- ① 機場目前有執行定期主、副排水路清淤工程，並落實排水幹管之檢查，另於豪大雨、颱風來臨前，進行機場活動區之巡場與維護、防水閘門及航廈機電設備巡視等災前整備事宜。
- ② 機場管理單位意識到極端天氣事件頻率的加增，盤點較常發生的災害為颱風、滯留鋒面挾帶之強降雨，易引發淹水問題，目前多發生在聯外道路與航廈（航廈地下室），淹水發生原因則多為排水效能不足、破

損或凹陷等，而造成雨水滯留。若雨水滯留航道上有可能影響摩擦係數，民航局針對每座機場的摩擦係數定期檢測，摩擦係數訂有標準，如低於標準時，會進行清洗胎屑，並發公告通知航空公司，降落時可能會有濕滑的可能性。

(3) 跨單位調適與防災作為

民國 101 年 6 月 12 日桃園埔心溪因豪雨暴漲，倒灌入機場過夜機坪，1 架波音 737 型客機遭暴漲倒灌溪水淹至鼻輪，起落架等機輪也浸泡在水中（如圖 2.17）。



圖 2.17 桃園國際機場埔心溪溪水倒灌入機坪
資料來源：<https://ppt.cc/fnWrqx>（大紀元新聞網）。

以前述案例為例，桃園市政府對溪河之疏濬及桃園機場區域排水系統強化需相互配合，有助預防此類洪災再次發生。而目前各機場跨單位聯防作為簡述如下：

- ① 配合地方主管機關之水利單位防汛措施，或是消防單位進行聯防。
- ② 軍民合用機場會同軍方定期配合實施演練。
- ③ 機場內部單位成立聯合防護團，結合駐站人力及物力，進行各項災害應變作為。
- ④ 民航局針對未來機場的發展思考發生複合性災害時的機場備援機制，並發展機場群的概念（如北部機場群、東部機場群），達到機場間可互相支援之效果。

另各機場緊急應變計畫已明確律定機場或鄰近地區發生緊急事件時所需採取之行動，並需協調、配合各相關單位之應變與參與。。

3. 科技技術面

(1) 防災預警及助航系統

目前桃園機場內部已設置雷（暴）雨警告通報系

統、機坪風速計；臺北國際航空站內部已設置引雷預警系統，各機場亦依其需求引進或建置相關預警及助航系統（如表 2.18）。

目前民航局為提升整體維護效能，規劃於 108-110 年陸續汰換松山、臺中、臺南、高雄、花蓮、金門及北竿等機場跑道儀降系統，另外，考量馬祖地區於春季容易受濃霧影響航班，進行南、北竿機場跑道改善評估規劃，並汰換助導航設施，以降低能見度限度及航班取消率。

表 2.18 臺灣各地機場助航裝備

名稱	數量	設置地點
歸航臺 (NDB)	10 套	大屯山、金門、南竿、後龍、恆春、臺南西港、馬公、花蓮、綠島及蘭嶼等處
定位臺 (LOCATOR)	10 套	高雄、臺北、花蓮、臺東知本、清泉崗、恆春、北竿及嘉義等處
特高頻多向導航 (DVOR)	8 套	臺北松山機場、大屯山、臺南西港、恆春、花蓮、馬公、後龍及綠島等處
測距儀 (DME)	38 套	桃園國際機場、高雄國際機場、臺北松山機場、臺中清泉崗、臺南、澎湖、嘉義水上、花蓮、臺東豐年、金門尚義、北竿、南竿、恆春等機場及大屯山、臺南西港、恆春、知本、綠島、蘭嶼等處
儀器降落系統 (ILS) (含 GP 及 LOC)	17 套	桃園國際機場、高雄國際機場、臺北松山、臺中清泉崗、臺南、澎湖、嘉義水上、金門尚義及花蓮等機場
左右定位輔助臺 (LDA)	7 套	臺北松山、花蓮、金門尚義、臺東、北竿及南竿等機場

資料來源：飛航服務總臺（108 年 7 月）。

(2) 防災資訊傳達

目前各機場使用飛航服務總臺轄下臺北航空氣象中心及各機場的氣象觀測臺所觀測之氣象資訊，做為行動

判斷依據，而機場接收到氣象資訊後會將其發佈給航空公司、地勤公司等，並由其自行判斷決定停飛起降與否，各航空公司、地勤公司或是機組人員亦會同步接收到飛航服務總臺的氣象資訊，故資訊的傳遞有許多管道且層層相扣。

隨科技及通訊軟體日益進步，現機場資訊有以下方式傳達：

- ① 機場之防災預警資訊可上網至民航局航空氣象站氣象服務網取得。
- ② 使用已建置之 app，方便相關人員快速取得資訊（如圖 2.18）。
- ③ 各機場透過加入地方政府防災通訊群組，掌握即時災情狀況。



圖 2.18 桃園國際機場航班資訊手機 app

資料來源：桃園國際機場公司。

(3) 機場設備、措施及技術

目前極端天氣狀況發生機率趨於上升，機場內各調適與防災設備、措施及技術盤點如下。

- ① 加強並加設航廈主體防水閘門及相關排水阻絕設施。
- ② 更換新式環保砂包。
- ③ 針對易淹水區域排定巡檢路線及使用雲端系統即時查詢巡檢狀況。
- ④ 設施加強其因應氣候變遷之能力，如桃園機場在第三航廈的建置上納入滯洪池；第三跑道加強其排水系統。
- ⑤ 各機場亦朝向智慧化機場方向去努力，例如：建置光纖骨幹系統，強化訊號通路，以達到 E 化巡檢、雲端查詢等。現今跑道、滑行道檢修也從過往的目視演進到如今引進高科技儀器(例如：摩擦係數車)，作為輔助。

4. 人才培訓與交流面

(1) 調適與防災人才培育

各機場目前依各項災害緊急應變計畫：

- ① 聯合相關負責單位，定期舉辦演練。
- ② 與機場各駐站單位共同演訓、整合資源，以達執行應變及防災作業之協調能力。
- ③ 舉辦教育訓練（急救訓練、SMS 風險管理課程、氣候變遷調適課程等），提升人員於災害發生前之應變能力及調適能力。

(2) 國外調適與防災技術交流

桃機公司分別於 2018 年 7 月主辦「2018 桃園機場論壇－提升機場效率」及 2017 年 6 月主辦「2017 桃園機場論壇－新世代機場發展與經營策略」。會中邀集全球標竿機場代表、ACI 國際航空專業人士與國內民航產業代表，共同交流國際航空趨勢。座談會中亦針對機場資通訊系統的發展、基礎設施維護、調適措施、防災應變及風險管理、安全管理系統等相關議題進行研討。

參. 課題篇

經前面章節之國內外調適與防災機制背景及現況分析後，本篇延續前述四大系統，界定運輸系統重要課題。

一、公路系統

1. 課題 01：因應大規模、複合性災害機率增高，公路應強化風險管理機制

既有或是新建公路設施，若位於高災害潛勢風險區，其所承受的極端天氣事件衝擊勢必較大，且運輸系統設施除了提供客貨運輸功能之外，在災害期間，更是其他重要維生基礎設施進行維修與救援的重要聯絡通道。

另橋梁維管部分，公路管理機關依照「公路橋梁檢測及補強規範」辦理橋梁檢測及補強等相關事宜，針對橋梁管理系統、橋梁管理督導考核等，應與時俱進並滾動檢討，以避免橋梁災害發生，造成民眾生命財產損失。

目前公路路段、邊坡及橋梁有其風險管理機制，並於汛期後進行滾動式檢討，但因為氣候變遷所導致之惡劣天氣，

致發生大規模、複合性災害機率增高，如何持續精進現有風險管理機制，並探討極端氣候事件於交通連結點發生的可能性，此為公路系統未來之挑戰。

2. 課題 02：因應氣候變遷影響，應評估與調整災前整備之內容

國道及公路災前整備已行之有年，養護管理機關因應極端氣候事件發生，強化易致災點位之災前整備、通告、預警作為及災中監控、調整及應變作為係重要之課題。

3. 課題 03：針對複合型災害發生機率增加，強化跨單位調適及聯防能力

氣候變遷影響極端氣候下複合型災害發生機率增加，跨單位防災整備更須仰賴各級機關及地方政府共同研商、協調。而國道及公路方面，應思考如何與其相關防災單位（如水利局、水保局及地方主管機關）之調適與防災能量整合，強化聯防能力。

4. 課題 04：為掌握極端氣候，防災預警資訊準確度提升及系統技術應精進檢討

氣象及環境資訊的監測是進行預警的基礎，而預警的精度與效率則和監測資料的完整性、可靠度及資訊的取得與傳遞速度有關。因應氣候變遷之影響，極端天氣發生機率增高，氣象局持續建置氣象等相關且適宜之檢監測系統，公路系統之防災預警資訊可應用氣象局氣象資訊，提升防災預警準確度、滾動檢討預警值及行動值等，並持續朝科技化之監測與管理方向發展，以強化防災能量。

5. 課題 05：為掌握防災預警資訊傳達時效，應利用科技強化防災預警資訊傳達

風險及防災資訊傳遞方面，各單位多透過媒體發布災害訊息，公路養護管理機關利用資訊看版(CMS)、行動載具 app、細胞廣播服務(CBS)等傳遞訊息。

氣候變遷造成之極端氣候，致災強度及頻率更難以預測，應藉由科技應用，將國道及公路之防災預警資訊迅速傳送相關災防人員及利害關係人，民眾亦可便利通報災害資訊，縮短災害資訊傳達時間，提高防災單位之資訊掌握度並減少民眾生命威脅及損失。

6. 課題 06：極端氣候災害強度提升，應利用科技更新及強化設備、措施及技術

公路養護管理機關對於有助於提高勘災及復建效率的科技技術、工具之運用應持續推動落實，積極運用有助提升衝擊耐受力的材料、工程工法，適時更新並引進新型設備及技術，不僅讓設施復建效率提升，更提高資訊的精確度。

7. 課題 07：為加強防救災人員劇烈天氣之認知，應強化培育調適及防救災人才並經驗傳承

目前國內各運輸系統設施管理機關內對於因應天氣事件均設有相關應變中心或小組，然而上述組織性質均屬於臨時任務編組，此種組織型態就機關內部之人力運用上雖然具有相對彈性的優點，但對於重要經驗的傳承卻相對容易隨著時間及人員的更迭而逐漸淡化甚至消逝，人才也因而容易產生斷層，不利於氣候變遷調適的推動與落實。另一方面，設施管理機關大多表示存在人力不足問題，人員對於風險辨識、風險評估及改善策略的概念與能力亦建議加強，為改善前述困境，必須思考如何協助建構專業防救災人才並經驗傳承。

二、鐵道系統

1. 課題 01：因應極端氣候所致之災害，應強化風險管理機制

風險管理包含「風險評估」及「風險處置」兩大階段，風險處置階段著重於風險處理、監控與溝通。風險溝通於風險處置階段扮演相當重要的角色，因為風險溝通不僅可促使大眾了解風險，更可以誘導利害關係人（包括個人、社區、企業等私部門至政府各部門）主動並及早因應與管理風險。

針對氣候變遷之影響，鐵道系統應建立相關的標準作業程序，例如巡查、檢測與監測制度。另橋梁維管部分，鐵路管理機關依照「鐵路橋梁之檢測及補強規範」辦理橋梁檢測及補強等相關事宜，針對橋梁管理系統、橋梁管理督導考核等，應與時俱進並滾動檢討，以避免橋梁災害發生，造成民眾生命財產損失。

2. 課題 02：針對氣候變遷之影響，應強化災前整備作業

隨著極端氣候所致之災害發生的頻率日益增加，為確保既有鐵道系統的行車安全，各鐵道單位如何針對暨有設施結

構物(邊坡、橋梁、隧道、鐵道)安全性進行檢視及管理，並強化其災前整備作業，為重要之議題所在。

3. 課題 03：因應複合型災害發生機率增加，應強化跨領域調適與防災整備

氣候變遷調適及防災涉及運輸部門跨單位的共同合作，因此在氣候變遷調適系列計畫諸多案例中，可看到多數國家對於公私部門及利害關係人之間對合作共識之凝聚均相當強調與重視，期藉由協力推動與資源整合的方式，有效落實調適計畫，提升總體成效。故協調跨單位、跨部門間的合作，以及加強凝聚合作共識並整合資源，將是能否增進整體調適力的重要課題。

4. 課題 04：為提升應變作為，應強化調適與防災預警資訊準確度及傳達效率

運輸系統設施受極端天氣事件影響衝擊而產生的損失多寡，除了與設施受影響的時間長短及其工程回復力高低有關之外，亦與是否能在極端天氣事件致災前即早提供準確的預警資訊、讓相關單位及設施使用者有充足的時間採取相關的

整備與應變作為有密切關係，尤其在氣候變遷環境下，短延時強降雨及強烈熱帶氣旋活動日趨頻繁，更須有精確而快速的預警資訊做後盾，以防患未然並減少受衝擊的程度。

5. 課題 05：因應災害規模增加，調適及抗災之設備、措施及技術需更新及強化

嚴重的極端天氣事件可能造成運輸系統的中斷，影響運輸服務供給，為減少對旅客造成的不便以及對物流的影響，同時確保運輸部門的功能得以維持，應思考如何提升運輸系統設施遭受天氣事件衝擊時的應對能力。

鐵道抗災措施應朝更科技化、更智慧化發展，為確保既有鐵道的沿線邊坡穩定、橋梁沖刷及隧道安全，各單位應定期針對既有結構物的安全性進行檢視及管理，並視需要予以補強與改善。

6. 課題 06：因應氣候變遷下之極端災害，應強化培育調適及防救災人才並經驗傳承。

目前國內各運輸系統設施管理機關對於因應天氣事件均設有相關應變中心或小組，然而上述組織性質均屬於臨時任

務編組，此種組織型態就機關內部之人力運用上雖然具有相對彈性的優點，但對於重經驗的傳承卻容易隨著時間及人員的更迭而逐漸淡化甚至消逝，人才也因而容易產生斷層，不利於氣候變遷調適的推動與落實。

另一方面，設施管理機關大多表示存在人力不足問題，人員對於風險辨識、風險評估及改善策略的概念與能力亦有待加強。

三、商港系統

1. 課題 01：因應港埠建設調適與防災管理需求，應建立風險管理機制

風險評估係為風險管理重要的一環，風險評估不僅有助於掌握災害發生的不確定性，更能幫助管理者安排採取調適行動的區位優先順序，並有助於選擇採行的調適策略，換言之，風險評估是推動落實氣候變遷調適的重要基礎。

另一方面，國外先進國家為了讓有限的資源能做最有效的利用，對於調適計畫方案的投資決策，經常會透過評估決策機制來協助評判，此方式實值得國內借鏡。

2. 課題 02：為健全商港區域面對氣候變遷之調適與抗災能力，應增進商港環境韌性、降低脆弱度

國際海事組織（IMO）除了於民國 105 年會議決議船舶使用燃油，於民國 109 年以後含硫量應低於 0.5%，又於 107 年 4 月第 72 屆海洋環境保護委員會會議（MEPC 72）通過一項歷史協議，即是「在 2050 年前將航運業的溫室氣體（GHG）

總排放量較 2008 年減少 50%」，爰對於近年 IMO 國際減排法規陸續頒布與實施，持續推動綠色港埠、溫室氣體減量等相關工作，已成為商港經營及管理單位的重要課題。

因嚴重的極端天氣事件可能造成商港系統的運輸服務中斷，為減少對旅客不便性及對物流影響，同時亦要確保港口運輸功能得以維持，應思考如何增進商港系統設施調適能力，如提高韌性、降低脆弱度等方面著手。港區設施部分，因應港口之特殊環境，應注重其設施劣化情形，維持設施安全與妥善度。

3. 課題 03：因應複合型災害發生機率增加，商港經營及管理單位應強化跨單位調適及聯防能力

極端氣候引起複合型災害發生機率增加，跨單位防災整備更須仰賴商港經營事業機構、各級機關、公民營業者共同配合協助，整合防災能量，使資源調配更迅速、合理。

4. 課題 04：為強化預警應變力，應精進預警資訊系統及工程技術

運輸系統設施受天氣事件影響衝擊而產生的損失多寡，

除了與設施受影響的時間長短及其工程回復力（韌性）高低有關之外，亦與是否能在天氣事件致災前即早提供準確的預警資訊，以讓相關單位及設施使用者有充足的時間採取相關的整備與應變作為有密切關係，尤其在氣候變遷環境下，除了短延時強降雨及颱風活動日趨頻繁外，極端與異常海象發生頻率亦逐漸增加，因此除了持續維護既有監控、監測等設施功能，朝科技化之監測與管理方向發展，尚需精確而快速的預警資訊做後盾，以防患未然或能及時應變減少港區災損，此外，港區幅員廣大，確實掌握港口即時動態亦是防災應變時其重要環節。

5. 課題 05：因應氣候變遷下之極端災害，調適及防救災人才需強化培育

應透過加強人員對氣候變遷下劇烈天氣之認知、狀況警覺性、防救災作業程序及防救訓練(例如：人才培育、情境演練、教材撰擬、急救訓練等)，提升其氣候敏銳度及災害應變能力。

6. 課題 06：為提升商港系統氣候變遷調適作為，應加強與國外調適及防災技術與資訊交流

氣候變遷造成之極端氣候為全球共同面對之問題，故應積極探究國外相關防災技術及機制，藉由舉辦參訪、座談會及交流會等方式，學習良好且適宜作為，以增進國內調適及抗災能力。

四、機場系統

1. 課題 01：為強化現行風險管理機制，應思考如何蒐集風險評估及計畫投資決策所需資料

氣候變遷風險評估所需資料眾多，包括氣候情境、設施暴露在氣候變遷下的危害程度、設施的安全性、設施的適應能力等，同樣的，計畫投資決策亦需要眾多數據資料做為支持基礎，例如：相關投資建設成本、災害風險降低所帶來的社會或環境效益價值等。

為能讓有限的預算做最有效的運用，在國外先進國家，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，中長期的建設計畫的投資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。

目前各機場風險管理機制主要係依民航局頒布之「飛航服務安全管理系統手冊」訂之，目前因氣候變遷緣故所導致之惡劣天氣，發生大規模、複合性災害機率增高，未來應依個別設施之風險評估指標，對相關資料如：歷次災害資料、造成之財產損失、修復方式與成本、周遭區域環境改變等進

行長期且持續的蒐集建置，以提升風險評估及計畫投資決策評估結果的可靠度與精確性，據以強化風險管理機制。

2. 課題 02：因應氣候挑戰，應建立各項因地制宜之管理機制及強化跨域協調

不同於鐵公路系統屬線性分布於臺灣各地，機場係屬點狀且具區域性的，目前民航局轄下共有 16 個航空站，因其所處之地理環境不同，會面臨不同的氣候挑戰。

另外氣候變遷調適與防災並非單一部門即可完成的工作，即使在運輸部門中，也涉及跨設施單位的共同合作，因此在氣候變遷調適系列計畫所回顧的諸多案例中，可看到多數國家對於公私部門及利害關係人之間對合作為共識凝聚均相當強調與重視，應藉由協力推動與資源整合的方式，有效落實調適計畫，提升總體成效。

基此，如何協調跨單位、跨部門間的合作，以及如何加強凝聚共識並整合資源，將是能否增進整體調適與防災能力的重要課題。

3. 課題 03：為提升天氣事件致災的預警精度與速度，應運用科技強化並持續建置各項預警系統及助航設備

運輸系統設施受天氣事件影響衝擊而產生的損失多寡，與相關預警及助航系統能在天氣事件致災前即早提供準確的資訊，以讓相關單位及設施使用者有充足的時間採取整備與應變作為有密切關係，尤其在氣候變遷環境下，短延時強降雨及強烈熱帶氣旋活動日趨頻繁，更需有精確而快速的預警資訊做後盾，以防患未然或減少受衝擊的程度。

4. 課題 04：為維持災防能量，應提升運輸設施遭受天氣事件衝擊的應對能力

嚴重的極端天氣事件可能造成運輸系統的中斷，影響運輸服務供給，為減少對旅客造成的不便以及對物流的影響，同時也為了盡可能確保運輸部門的功能得以維持，應思考如何提升運輸系統設施遭受天氣事件衝擊時的應對能力。

而機場內部除了思考如何提升設施耐候力外，需要更有效率的檢（修）驗標準及方法並研擬措施管理各部門人員達成自身任務。

5. 課題 05：因應氣候變遷下之極端災害，調適及防救災人才需強化培育

目前國內各運輸系統設施管理機關內對於因應天氣事件均設有相關應變中心或小組，然而上述組織性質均屬於臨時任務編組，此種組織型態就機關內部之人力運用上雖然具有相對彈性的優點，但對於重要經驗的傳承卻相對容易隨著時間及人員的更迭而逐漸淡化甚至消逝，人才也因而容易產生斷層，不利於氣候變遷調適的推動與落實。

6. 課題 06：為提升抗災能力，應強化調適及災防技術與資訊交流

氣候變遷造成之極端氣候為全球共同面對之問題，機場管理單位應以舉辦參訪、座談會及交流會等方式探究國內外相關防災技術及機制，吸取良好且適宜作為，以強化調適與抗災能力。

肆. 展望篇

一、調適與防災政策

(一) 調適與防災架構

政策一：強化災害風險管理機制，確保設施整體安全性

策略 1、建立或精進運輸設施安全性與風險評估方法並定期評估

策略 2、強化災害偵查機制與應變作為

策略 3、運輸設施考量周邊環境關係並盡量迴避高災害潛勢地區

策略 4、強化並滾動檢討現行災前整備作業

策略 5、優化設施管理資料庫及系統

政策二：提升跨域聯防及調適能力，增加設施抗災韌性

策略 1、健全氣候變遷調適跨域整合聯繫機制

策略 2、研商並建立運輸系統設施間備援方案

策略 3、強化跨運輸系統介面及重要維生基礎設施聯外/聯絡道路衝擊耐受力

政策三：提升科技技術，達成防災預警資訊迅速傳遞

策略 1、精進災防預警系統與技術

策略 2、應用科技強化運輸設施之巡檢與監測

策略 3、研發及運用有助提升衝擊耐受力的材料、設備與工法

策略 4、持續導入及應用各項新興科技

策略 5、強化培育氣候變遷調適、防災專業人才

策略 6、持續進行國內外調適與防災資訊交流

(二) 調適與防災策略規劃基本原則

依據我國現行之國家氣候變遷調適計畫架構和災害防救基本計畫，以及氣候變遷調適與防災之基礎與內涵，明訂本分冊之調適與防災策略，其規劃基本原則如下（如圖 4.1）：

1. 屬於大方向的指導性質

依據前述國家氣候變遷調適與災防計畫，本分冊所規劃之調適策略及行動方案，係依據前述各運輸部門面對氣候變遷之課題，加上各機關所研擬之調適行動方案（107-111 年）訂之，在未來將成為設施管理機關進一步提出具體行動計畫的參考或指導方向。換言之，本分冊提出的將是如何達成調適目標的方法與途徑建議，屬於大方向的指導性質。

2. 僅以天氣事件帶來的影響衝擊為考量

本分冊聚焦於氣候變遷下之極端天氣事件所導致運輸系統的相關影響衝擊，其他如地震、反恐等議題策略並未納入。

3. 立基歷史經驗，強調現況及未來風險

依據氣候變遷調適與防災的定義，相關作為除了要以過往及當前的天氣事件衝擊為基礎，更必須將現況及未來納入

考量，故策略內容強調風險評估之重要性。

4. 以降低脆弱度及提升韌性為核心

依循「行動綱領」及「災害防救基本計畫」之目標，本分冊策略規劃將以降低脆弱度及提升韌性為核心，重點包括：降低設施暴露於天氣事件威脅下的程度、降低設施受天氣事件影響範圍與大小、提高消弭威脅及回復原有功能的能力等。

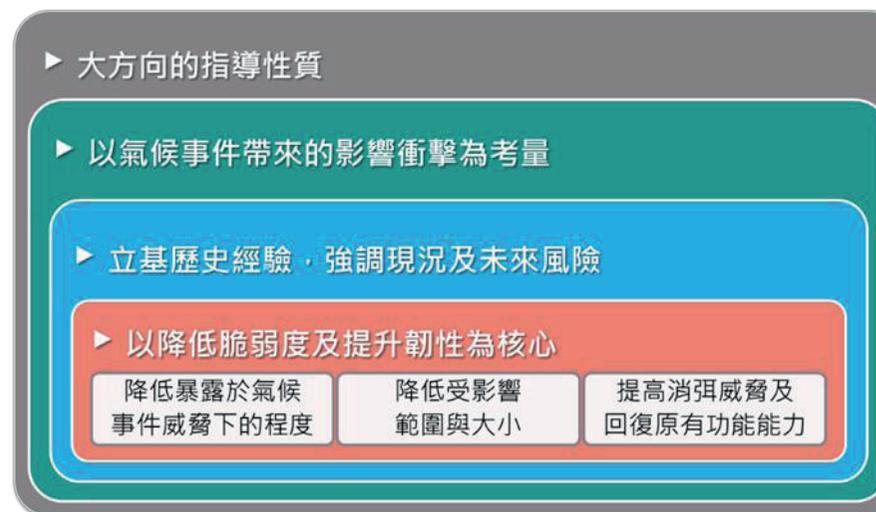


圖 4.1 運輸部門氣候變遷調適與防災策略規劃基本原則

二、調適與防災策略及行動方案

政策一：強化災害風險管理機制，確保設施整體安全性

策略 01：建立或精進運輸設施安全性與風險評估方法並定期評估

(一) 說明

設施安全性為風險評估過程中所需的重要指標，在進行設施改善與強化前，應先掌握設施的安全狀態。

考量氣候變遷威脅日增，為確保設施在氣候變遷影響衝擊下的安全性，針對易受天氣事件影響而致運輸系統有無法運作之虞的設施，應建立安全性標準與評估方法，至於已建立標準與評估方法者，則應持續優化精進。另為避免橋梁災害發生，造成民眾生命財產損失，應推動橋梁維管策進作為。

風險評估於邊坡部分可結合地表變形分析成果及相關自然環境條件、資訊、災害歷史及監測資料等成果，依設施之現狀及重要性，制定邊坡地表變形的安全評估分級準則，並

進行長期「邊坡」地表變形監測分析、變化趨勢預測及管理警戒值訂定。

另外，為能讓有限的預算做最有效的運用，先進國家交通建設計畫的投資會利用財務評估或經濟效益分析的方式，進行計畫風險評估，並據以排定推動優先順序。

(二) 行動方案

● 公路系統：

- (1) 易致災路段風險分析滾動檢討
- (2) 探討極端天氣事件於交通連結點發生的可能性
- (3) 制定邊坡變形安全評估分級準則
- (4) 進行長期邊坡變形監測分析、變化趨勢預測及管理警戒值訂定
- (5) 推動橋梁維管策進作為

● 鐵道系統：

- (1) 易致災路段風險分析滾動檢討
- (2) 定期或於重大天氣事件衝擊後評估檢討設施安全性與風險等級

- (3) 制定邊坡變形安全評估分級準則
- (4) 進行長期邊坡變形監測分析、變化趨勢預測及管理警戒值訂定
- (5) 推動橋梁維管策進作為
- **商港系統：**
 - (1) 持續推動「各國際及國內商港港灣構造物維護管理計畫」
 - (2) 定期或重大天氣事件衝擊後評估檢討設施安全性與風險等級
 - (3) 進行調適計畫執行前後之風險評估與比較，以此檢視調適成效
- **機場系統：**
 - (1) 規劃建立機場周遭高風險熱點及風險地圖
 - (2) 定期或重大天氣事件衝擊後評估檢討設施安全性與風險等級
 - (3) 進行調適與防災計畫執行前後之風險評估與比較，以此檢視成效

策略 02：強化災害偵查機制與應變作為

（一）說明

災害偵查應掌握災害的規模大小、範圍及對相關利害關係人的影響等資訊，做為後續應變作為及決策的支援，亦需適時更新及應用最新的科技技術，強化及更新災害偵查機制與相關應變作為，以因應氣候變遷下劇烈天氣的考驗。

災害偵查方法、設備必須與時俱進，隨著科技發展適時更新，針對歷年災害應變結果進行分析，滾動檢討應變作為，除此之外，也應考量周遭大區域環境改變，例如：土地使用變更，埤塘填平、河堤老劣化、地下排水管線破損淤塞等，來探討對策或是法令的修改。

為提升管理機制及災害預警、防治之效，可蒐集歷年地表地質調查、地質鑽探及地物探測等資料，就區域地質、水文、斷層、坡地災害潛勢區、液化潛勢區及地質災害等大地環境相關評估資訊，進行環境之致災潛勢衝擊評估。

適時主動分析氣候變遷而導致的可能災害，並擬定相關對策，於災前擬定各項應變作為，以達到防減災及避災之效。

（二）行動方案

● 公路系統：

- (1) 精進公路設施災害偵查方法、設備並滾動檢討應變作為
- (2) 進行致災潛勢衝擊評估

● 鐵道系統：

- (1) 精進鐵路設施災害偵查方法、設備並滾動檢討應變作為
- (2) 進行致災潛勢衝擊評估

● 商港系統：

精進商港設施災害偵查方法、設備並滾動檢討應變作為

● 機場系統：

精進機場設施災害偵查方法、設備並滾動檢討應變作為

策略 03：運輸設施考量周邊環境關係並盡量迴避高災害潛勢地區

（一）說明

運輸系統設施如座落於高災害潛勢地區，則其所能承受的天氣事件衝擊強度勢必較低，為了避免上述先天不良的情形發生，新建運輸系統設施之選址，應主動避開高風險區位，如：地勢低窪地區、地質敏感區…等，並考量周邊環境關係，以確保設施承受天氣事件衝擊的耐受力能達到平均水準。

而對於既有設施，如因位處高災害潛勢地區而致使經常出現嚴重的致災情形，且經評估確認各種改善更新以及其他技術與材料運用皆無法有效調適時，則應評估路線改線或場站遷建或研擬其他替代路線/運具，以確保運輸安全與可靠度。

（二）行動方案

- 公路系統：
 - (1) 新建設施選址儘量迴避高災害潛勢地區
 - (2) 重複性嚴重致災設施無法有效改善更新時，則改線或遷站

- 鐵道系統：
 - (1) 新建設施選址應主動迴避高災害潛勢地區
 - (2) 重複性嚴重致災設施改線或遷站
- 商港系統：

新建設施選址盡量迴避位屬海嘯溢淹潛勢區域
- 機場系統：
 - (1) 新建設施選址盡量迴避周遭具高災害潛勢之地區
 - (2) 重複致災設施以工程作為進行補強或考慮遷建

策略 04：強化並滾動檢討現行災前整備作業

(一) 說明

在國道及一般公路方面，要針對氣候變遷進行影響評估與調整災前整備之內容，另外針對路權外之致災成因改善分工協調不易，致使災害問題難以有效解決，亦要持續滾動檢討；在鐵道方面，要針對相關防災設施進行定期體檢，給予適當的更新、修補與強化，並且確實於災前確保防災設備的堪用；在商港及機場方面，要針對其設施、環境及可能面臨的災害，擬定相關對策，於災前強化各項應變作為，以達到避災、減災之效能。

(二) 行動方案

• 公路系統：

- (1) 現有災前整備因應極端天氣事件進行滾動檢討
- (2) 強化極端天氣事件易致災點位之災前整備、通告及預警作為
- (3) 強化極端天氣事件易致災點位之災中監控、調整及應變作為

• 鐵道系統：

- (1) 定期對暨有設施結構物進行檢視及管理
- (2) 對受災之邊坡、路堤及隧道等路段進行定期檢測及強化工程，強化抗災能力

• 商港系統：

- (1) 考量各類氣候變遷情境，辦理災害防救業務計畫編撰工作
- (2) 各類情境之緊急應變計畫定期辦理滾動檢討工作
- (3) 持續辦理「港灣構造物設計基準」(含碼頭、防波堤)重新檢討、頒定工作
- (4) 依據「臺灣港務公司國際商港錨泊使用管理規定」,推動落實錨泊區於颱風及熱帶性低氣壓預警機制,俾利辦理船期掌握及船舶監控等災害預防性工作
- (5) 持續辦理「既有碼頭檢測及改建評估計畫(含老舊碼頭改建工程)」

- 機場系統：

- (1) 預先規劃機場防救災資源之盤點、保存、更替及應用
- (2) 預擬災害課題及防救災的對策、檢討及演訓

策略 05：優化設施管理資料庫及系統

(一) 說明

設施管理資料庫及系統讓設施管理單位可確實掌握轄內各項設施基本資料及狀況，進行相關之檢測及監測，掌握安全性，適時更新設備，達到全生命週期管理的目的。

為能完整管理設施資產，各單位均應妥善建置設施管理資料庫，包含規劃、設計、興建、維護管理等全生命週期各階段相關資訊，並開發管理系統，以提高管理效率；對於已完成設施資產管理系統開發的管理機關，則應持續優化系統。

設施管理優化應蒐集欲管理設施所需資料，如設計、竣工及維護資料，建立資料庫管理模式及資料分類索引，亦可開發 GIS 圖台之管理功能，以強化設施之抗災與應變能力。

除設施本身之管理資料庫之外，應強化各設施所處環境之空間資訊蒐集、建置、介接與整合，包含內政部持續維護之三維地形資料、GPS 地面追蹤站等，並建置相關決策支援系統。

(二) 行動方案

• 公路系統：

- (1) 精進公路設施資訊管理系統並更新資料庫
- (2) 建置公路橋梁災害管理 GIS 系統，建立風險評估模式及風險快篩作業
- (3) 建置智慧監測暨防災決策支援系統

• 鐵道系統：

健全鐵路設施資訊管理系統並更新資料庫

• 商港系統：

- (1) 優化「港灣構造物維護管理資訊系統」
- (2) 健全「工程管理資訊系統」並持續優化

• 機場系統：

- (1) 持續更新、擴充機場設施規劃、設計、興建及維護等相關管理資訊系統
- (2) 蒐集調適成本及歷年災害相關資料

政策二：提升跨域聯防及調適能力，增加設施抗災韌性

策略 01：健全氣候變遷調適跨域整合聯繫機制

(一) 說明

氣候變遷調適工作經常涉及不同運輸系統設施之間，甚至跨部門的溝通協調合作，例如：淹水或坡災問題成因往往不單純只是肇因於設施本身，有時係與下游區域排水容量有關；河川橋梁沖刷問題則與河川之整治相關；部分大型邊坡坍塌問題之主要成因則與上方山坡地治理有關，而上述問題之權責單位涉及水利署、農委會、林務局、地方政府等，顯見運輸部門因應氣候變遷，應健全氣候變遷調適跨域整合聯繫機制，以有效協調跨部門、跨單位間的分工並整合資源。

(二) 行動方案

- 公路系統：

- 建立及精進現有跨域聯繫機制

- 鐵道系統：

- 建立及精進現有跨域聯繫機制

- 商港系統：

- (1) 建立及精進現有跨域聯繫機制

- (2) 持續推動綠色港埠相關工作

- (3) 極端天氣事件納入演練內容，定期辦理商港區域演練工作

- (4) 推動港區公民營事業機構辦理自我演練機制

- 機場系統：

- (1) 建立及精進現有跨域聯繫機制

- (2) 強化區域及大區域跨單位防災溝通協調及協力推動資源整合

策略 02：研商並建立運輸系統設施間備援方案

（一）說明

為因應運輸服務受極端天氣事件侵襲而中斷的狀況，個別運輸系統均應規劃系統內部的備援方案。例如：商港系統應建置維生碼頭、機場應規劃備援機場及緊急轉降路線。此外，亦應規劃跨系統的備援機制，即不同運輸系統設施之間的運輸支援機制，以不同運輸系統達到疏運客貨的目的。

（二）行動方案

- **公路系統：**
精進現有運輸系統設施的備援方案
- **鐵道系統：**
規劃系統內部及跨系統的備援設施、替代路線
- **商港系統：**
持續推動「維生碼頭規劃可行性評估（含維生碼頭改建工程）」及檢討工作
- **機場系統：**
研議空運系統內運輸部門間備援體系與運作機制

策略 03:強化跨運輸系統介面及重要維生基礎設施聯外/聯絡道路衝擊耐受力

(一) 說明

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災害期間進行維修與救援的重要聯絡通道。

為能在氣候變遷環境下盡量維持上述應有功能，除了應設法確保重要維生基礎設施聯外/聯絡道路不被天氣事件帶來之影響衝擊損壞之外，更要避免跨運輸系統介面的阻斷而致使運輸功能無法正常運作，導致其他重要維生基礎設施無法進行維修與救援。

(二) 行動方案

- 公路系統：

- (1) 檢討強化並改善跨運輸系統介面易致災路段
- (2) 強化重要維生基礎設施聯外/聯絡道路衝擊耐受力

- 鐵道系統：

- (1) 強化鐵路車站聯外道路
- (2) 強化重大儲油、儲氣、儲水、儲電設施聯外道路

- (3) 加強溝通及協調高淹水風險設施、跨運輸系統介面及重要維生基礎設施聯外/聯絡道路等周邊區域排水系統之檢討與強化

- 商港系統：

配合地方政府，進行商港區域周邊區域排水系統及道路改善工程

- 機場系統：

強化機場及其周遭聯外道路

政策三：提升科技技術，達成防災預警資訊迅速傳遞

策略 01：精進災防預警系統與技術

（一）說明

因應氣候變遷之影響，極端天氣事件發生機率增高，除氣象監測與預報能力持續提升外，運輸部門防災預警系統亦需要持續維護、精進，朝向更科技化之監測與管理方向發展，藉此提升效率及預警準確性。

氣象及環境資訊的監測為預警作為的基礎，而預警的精度與效率則和監測資料的完整性、可靠度及資訊的取得與傳遞速度有關。為提升天氣事件致災的預警精度與效率，有賴相關科技的研發與應用，例如：臺灣高鐵公司之「天然災害告警系統（DWS）」即針對邊坡滑動、地震、落石等災害提供即時告警功能（與車輛號誌系統連結）。

此外，應持續擴增氣象觀測網覆蓋率，精進氣象衛星與雷達資料整合應用，發展高解析度數值天氣預報模式，以提

升氣象預警時效與準確度，並落實海氣象資訊在運輸系統之預警與防災應用。

另推動調適與防災亦需要相關利害關係人行為上的改變配合，才能有效達成防災及避災的目的。目前各系統皆利用現有科技技術進行防災預警資訊的傳達，例如：智慧型手機簡訊、app 推播服務，免費社群網路等，以廣泛通路告知用戶端現在及未來可能遭遇之災害風險，然而若要達到行為改變，各運輸系統除了持續精進資訊傳遞效率外，亦需配合氣象預警訊息及現有防救災計畫機制，積極強化及精進人民防災及避難之宣導。

（二）行動方案

• 公路系統：

- (1) 針對劇烈天氣致災機率研究分析並適度參考、引用國內外新技術
- (2) 防災預警系統持續維護並精進
- (3) 建立陸路氣象監測應用系統，持續精進現有防災預警資訊傳送技術

- (4) 利用免費社群網路、行動載具 app 做為資訊傳遞工具
- (5) 強化並精進人民防災及避災宣導
- (6) 推動創新智慧氣象之數位服務，藉由及時定量氣象預報，落實氣象資訊於公路系統之應用
- (7) 精進氣象雷達與災防預警，落實氣象雷達資訊於公路系統之應用

• **鐵道系統：**

- (1) 防災預警系統持續維護及精進並進行預警、行動值之檢討
- (2) 利用免費社群網路做為資訊傳遞工具
- (3) 強化並精進人民防災及避災宣導
- (4) 推動創新智慧氣象之數位服務，藉由及時定量氣象預報，落實氣象資訊於鐵道系統之應用
- (5) 精進氣象雷達與災防預警，落實氣象雷達資訊於鐵路系統之應用

• **商港系統：**

- (1) 防災預警系統持續維護、精進並進行預警、行動值等檢討
- (2) 開發即時海象資料展示平台，提供即時海氣象觀測資訊
- (3) 辦理強化「船舶自動辨識系統」(AIS) 接收裝置並納入氣象局海氣象預報情資推播功能工作，及建立船舶氣象觀測系統
- (4) 精進「劇烈天氣監測系統」(QPESUMS) 查詢系統，增加預警燈號、推播功能
- (5) 利用免費社群網路，將商港區域防災預警資訊迅速傳送相關災防人員及利害關係人
- (6) 強化並精進人民防災及避災宣導
- (7) 創新智慧海象資訊服務，建構智慧海象防災觀測網、環島異常波浪預警系統及臺灣海象災防環境資訊平臺，落實海象資訊於商港系統之應用

- **機場系統：**

- (1) 逐年編列充足預算於系統及設備建置
- (2) 利用行動裝置 app、免費社群網站做為資訊傳遞工具
- (3) 強化並精進人民防災及避災宣導
- (4) 推動創新智慧氣象之數位服務，藉由及時定量氣象預報，落實氣象資訊於機場系統之應用
- (5) 精進氣象雷達與災防預警，落實氣象雷達資訊於機場系統之應用

策略 02：應用科技強化運輸設施之巡檢與監測

（一）說明

氣候變遷造成之極端天氣事件，使其災害強度及發生頻率更加難以預測，對天氣事件及其所致災害的預警應變有賴相關的氣象及環境資訊做為支持，而相關資訊的取得除了透過巡檢之外，更有賴監測設施的設置。

應對既有的巡檢制度進行檢討並調整優化，例如：建立標準規範、提高巡檢效率；定期檢討及調整監測設施設置點位與數量。

應用科技將巡檢及監測成果迅速傳送相關災防人員及利害關係人，快速掌握各災害高風險區狀況並縮短災害資訊傳達時間，提高各單位之資訊掌握度及效率。

（二）行動方案

● 公路系統：

精進公路設施檢監測設備並適度參考、引用國內外新技術

● 鐵道系統：

精進鐵路設施檢監測設備並適度參考、引用國內外新技術

● 商港系統：

運用無人航空載具（UAV）實施港區設施巡檢及透過港區監視系統（CCTV），隨時掌握港區最新動態

● 機場系統：

- (1) 增加訊號通路建置使網路涵蓋範圍及穩定性提升
- (2) 持續優化原有標準巡檢制度
- (3) 持續推行檢測檢查自動化、資訊化
- (4) 加強即時監控系統及精進監視設備
- (5) 試作及建立遠端監測、中控指揮系統

策略 03：研發及運用有助提升衝擊耐受力的材料、設備與工法

(一) 說明

運輸系統之設備、措施及技術，為因應氣候變遷極端天氣之影響，應重新檢視其抗災能力，適時更新並引進新型設備及技術來精進防災整備之能力。

對於原有設備、設施，應依預算及設施重要性等排定順序，進行受損補強、維修或汰舊換新作業，在作業過程中需審慎考量人力、機具及資源配置等相關規劃，以保持原先維運能量。

另外，應積極研發及運用有助提升衝擊耐受力的材料、工程工法與設備，例如：針對強降雨所致之淹水衝擊，可透過設置防洪減災設施、蓄洪或滯洪空間、透水保水設施等方式強化衝擊耐受力。持續推動提高勘災及復建效率的科技研發及運用，進行國外新技術的交流與移轉，及國內各研發單位技術的彙整。

(二) 行動方案

• 公路系統：

- (1) 積極運用有助提升衝擊耐受力之材料、工程設備及工法
- (2) 持續推動運用提高勘災及復健效率之科技技術、工具
- (3) 針對提升設施重建效率的科技、工法與材料，國外新技術的交流與移轉及國內各研發單位技術的交流

• 鐵道系統：

- (1) 彙整國內外各研發單位技術
- (2) 逐年編列預算進行相關材料、工程、設備的研究、開發及運用
- (3) 進行國外新技術的交流與移轉

• 商港系統：

- (1) 逐年編列充足預算與研究單位合作進行相關材料、工程、設備的研究、開發及運用
- (2) 彙整國內外各研發單位技術並參考引進運用或進行國內外新技術的交流與移轉

- 機場系統：

強化原有設備設置後之維護及營運作為

策略 04：持續導入及應用各項新興科技

（一）說明

國內外運輸系統設施管理機關對於有助提高勘災及復建效率的科技研發及運用均相當重視，例如：日本國土交通省之氣候變遷調適計畫（2015 年）即指出未來將研究堤防新技術，以提升設施防洪能力，而國內如本部公路總局近年則利用無人航空載具（UAV）、空載光學雷達（LiDAR）等高科技輔助設備蒐集高邊坡、人力無法巡查的影像，未來則擬進一步採用多音束量測技術測量橋梁淘刷程度；本部高公局則開發邊坡全生命週期維護管理系統，讓勘查人員可利用平板電腦記錄，透過雲端回報勘查結果，大幅縮短回報時間。上述作為的推動落實，不僅讓設施復建效率提升，更提高資訊的精確度，同時也減輕人力需求。

為提升科技應用之成效，可評估導入遙測分析技術如 InSAR 技術等，進行監測之資料分析及建立風險評估機制，並整合環境空間大數據資料庫。

承上，為利精進調適與防災作為，應將災害事故紀錄資訊化，蒐集各災害事故數據資料並結合構造物修繕紀錄、風險分析結果以及科技監測數據等，以做為後續設施安全評估、警戒值訂定、預警等大數據平台之基礎，做為決策者參考依據。

（二）行動方案

• 公路系統：

- (1) 針對極端天氣致災結果研究分析，並更新易致災路段
- (2) 於高風險公路邊坡進行無人航空載具（UAV）拍攝分析及防災預警對策研擬
- (3) 發展無人航空載具（UAV）於橋梁巡檢、河道沖刷紀錄比對、AI 辨識鋼橋銹蝕等應用
- (4) 應用遙測技術進行監測之資料分析及建立風險評估機制，並整合環境空間大數據資料庫
- (5) 易致災路段預警、行動值滾動檢討

- **鐵道系統：**

- (1) 加強所需氣象資訊之提供及資料介接
- (2) 於高風險鐵道邊坡進行無人航空載具（UAV）拍攝分析及防災預警對策研擬
- (3) 發展無人航空載具（UAV）於橋梁巡檢、河道沖刷紀錄比對、AI 辨識鋼橋銹蝕等應用
- (4) 應用遙測技術進行監測之資料分析及建立風險評估機制，並整合環境空間大數據資料庫
- (5) 易致災路段預警、行動值滾動檢討

- **商港系統：**

- (1) 推動災害事故通報線上化、資訊化
- (2) 建置雲端管理平台，俾利進行資料管理及分析工作

- **機場系統：**

- (1) 建立三維空間觀測系統，加強所需氣象資訊之提供及資料介接
- (2) 推動災害事故通報線上化、資訊化

策略 05：強化培育氣候變遷調適、防災專業人才

（一）說明

人才是因應氣候變遷調適與防災的重要關鍵，具備風險管理知識與技術的人才應用其專業能力協助，避免或降低極端天氣事件帶來的影響衝擊，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，有助於將調適作為納入各環節，增進調適與防災總體成效。

此外，設施管理機關應加強既有人員對氣候變遷下劇烈天氣的認知、狀況警覺性、防救災作業程序及防救訓練，以提升其氣候敏銳度及災害應變能力。

（二）行動方案

• 公路系統：

- (1) 加強防救災人員對氣候變遷下劇烈天氣之認知、狀況警覺性、防救災作業程序及教育訓練
- (2) 針對可能遭遇之氣候變遷情境，辦理防救災演練
- (3) 建立氣候變遷調適與防災人才培訓制度

• 鐵道系統：

- (1) 加強防救災人員對氣候變遷下劇烈天氣之認知、狀況警覺性、防救災作業程序及教育訓練
- (2) 建立氣候變遷調適人才培訓制度

• 商港系統：

- (1) 檢討現行防救災機制、任務編組妥適性
- (2) 建立氣候變遷調適與防災人才培訓制度
- (3) 針對商港系統氣候變遷調適議題辦理研討
- (4) 蒐整各國內外商港氣候變遷因應作為及研究、災害應變案例等以編列教育訓練教材

• 機場系統：

- (1) 可建立氣候變遷調適與防災人才培訓制度
- (2) 蒐整各機場致災案例及應變作為以編列教育訓練教材
- (3) 人員至國內外機場進行演訓觀摩交流及經驗分享

策略 06：持續進行國內外調適與防災資訊交流

（一）說明

為因應氣候變遷造成之極端氣候，應持續蒐集研析國內外各運輸部門之相關防災技術及機制，藉由舉辦參訪、座談會及交流會等方式，學習良好且適宜之作為，以增進國內調適與抗災能力。

（二）行動方案

- 公路系統：

- (1) 與國內外公路調適與防災單位進行觀摩交流及經驗分享
- (2) 參加國內外相關研討會或座談會

- 鐵道系統：

與國內外鐵路調適與防災單位進行觀摩交流及經驗分享

- 商港系統：

與國內外商港進行商港系統因應氣候變遷調適作為之觀摩交流及經驗分享

- 機場系統：

與國內外機場進行機場系統因應氣候變遷調適作為之觀摩交流及經驗分享

附錄：行動方案一覽表

政策	策略	行動方案	主辦機關	協辦機關	啟動年期		
					~109年	~111年	111~年
政策一： 強化災害風險管理機制，確保設施整體安全性	策略 1、 建立或精進運輸設施安全性與風險評估方法並定期評估	易致災路段風險分析滾動檢討	高公局 公路總局 鐵道局 臺鐵局		✓		
		探討極端天氣事件於交通連結點發生的可能性	高公局 公路總局	地方政府		✓	
		推動橋梁維管策進作為	運研所 橋梁管理機關、橋梁主管機關(含地方政府)		✓		
		制定邊坡變形安全評估分級準則	高公局 公路總局 鐵道局 臺鐵局		✓		
		進行長期邊坡變形監測分析、變化趨勢預測及管理警戒值訂定	高公局 公路總局 鐵道局 臺鐵局		✓		

		定期或於重大天氣事件衝擊後，啟動評估設施安全性與風險等級	鐵道局 臺鐵局 港務公司 航港局 民航局 桃機公司			✓	
		持續推動「各國際及國內商港港灣構造物維護管理計畫」	港務公司 航港局	運研所	✓		
		進行調適計畫執行前後之風險評估與比較，以此檢視調適成效	港務公司 航港局 民航局 桃機公司				✓
		規劃建立機場周遭高風險熱點及風險地圖	民航局 桃機公司	地方政府、水利署、水保局		✓	
	策略 2、 強化災害偵查機制與應變作為	精進設施災害偵查方法、設備並滾動檢討應變作為	高公局 公路總局 鐵道局 臺鐵局 港務公司 航港局 民航局 桃機公司			✓	
		進行致災潛勢衝擊評估	高公局 公路總局 鐵道局 臺鐵局			✓	

策略 3、 運輸設施考量周邊環境關係並盡量迴避高災害潛勢地區	新建設施選址儘量迴避高災害潛勢地區	高公局 公路總局 鐵道局 臺鐵局 民航局 桃機公司	地方政 府、水利 署、水保 局		✓		
	重複性嚴重致災設施無法有效改善更新時，則改線或遷站	高公局 公路總局 鐵道局 臺鐵局	地方政 府、水利 署、水保 局			✓	
	新建設施選址儘量迴避位屬海嘯溢淹潛勢區域	港務公司 航港局			✓		
	重複致災設施以工程作為進行補強或考慮遷建	民航局 桃機公司		✓			
	策略 4、 強化並滾動檢討現行災前整備作 業	現有災前整備因應極端天氣事件進行滾動檢討	高公局 公路總局		✓		
		強化極端天氣事件易致災點位之災前整備、通告及預警作為	高公局 公路總局			✓	
		定期對暨有設施結構物進行檢視及管理	鐵道局 臺鐵局		✓		
		對受災之邊坡、路堤及隧道等路段進行定期檢測及強化工程，強化抗災能力	鐵道局 臺鐵局	水利署 水保局	✓		
		考量各類氣候變遷情境，辦理災害防救業務計畫編撰工作	港務公司 航港局		✓		

		各類情境之緊急應變計畫定期辦理滾動檢討工作	港務公司 航港局		✓		
		持續辦理「港灣構造物設計基準」(含碼頭、防波堤)重新檢討、頒定工作	港務公司	運研所	✓		
		依據「臺灣港務公司國際商港錨泊使用管理規定」,推動落實錨泊區於颱風及熱帶性低氣壓預警機制,俾利辦理船期掌握及船舶監控等災害預防性工作	港務公司		✓		
		持續辦理「既有碼頭檢測及改建評估計畫(含老舊碼頭改建工程)」	港務公司	運研所	✓		
		預先規劃機場防救災資源之盤點、保存、更替及應用	民航局 桃機公司		✓		
		預擬災害課題及防救災的對策、檢討及演訓	民航局 桃機公司		✓		
	策略 5、 優化設施管理資料庫及系統	精進公路設施資訊管理系統並更新資料庫	高公局 公路總局		✓		
		建置公路橋梁災害管理 GIS 系統,建立風險評估模式及風險快篩作業	高公局 公路總局			✓	
		建置智慧監測暨防災決策支援系統	高公局 公路總局			✓	
		健全鐵路設施資訊管理系統並更新資料庫	鐵道局 臺鐵局		✓		
		優化「港灣構造物維護管理資訊系統」	港務公司	運研所		✓	
		健全「工程管理資訊系統」並持續優化	港務公司	運研所		✓	
		持續更新、擴充機場設施規畫、設計、興建及維護等相關管理資訊系統	民航局 桃機公司		✓		

		蒐集調適成本及歷年災害相關資料	民航局 桃機公司	管理資訊 中心		✓	
政策二： 提升跨域聯 防及調適能 力，增加設 施抗災韌性	策略 1、 健全氣候變遷調適跨域整合聯繫 機制	建立及精進現有跨域聯繫機制	高公局 公路總局 鐵道局 臺鐵局 港務公司 航港局 民航局 桃機公司	消防署、 地方政府	✓		
		持續推動綠色港埠相關工作	港務公司 航港局			✓	
		極端天氣事件納入演練內容，定期辦理 商港區域演練工作	港務公司 航港局	地方政府	✓		
		推動港區公民營事業機構辦理自我演練 機制	港務公司 航港局			✓	
		強化區域及大區域跨單位防災溝通協調 及協力推動資源整合	民航局	地方政 府、桃機 公司	✓		
	策略 2、 研商並建立運輸系統設施間備援 方案	精進現有運輸系統設施的備援方案	高公局 公路總局			✓	
		規劃系統內部及跨系統的備援設施、替 代路線	鐵道局 臺鐵局			✓	
		持續推動「維生碼頭規劃可行性評估 (含維生碼頭改建工程)」及檢討工作	港務公司	航港局	✓		
		研議空運系統內運輸部門間備援體系與 運作機制	民航局 桃機公司	航政司	✓		

	策略 3、 強化跨運輸系統介面及重要維生 基礎設施聯外/聯絡道路衝擊耐 受力	檢討強化並改善跨運輸系統介面易致災 路段	高公局 公路總局				✓
		強化重要維生基礎設施聯外/聯絡道路 衝擊耐受力	高公局 公路總局				✓
		強化鐵路車站聯外道路	鐵道局 臺鐵局	地方政 府、營建 署		✓	
		強化重大儲油、儲氣、儲水、儲電設施 聯外道路	鐵道局 臺鐵局			✓	
		加強溝通及協調高淹水風險設施、跨運 輸系統介面及重要維生基礎設施聯外/ 聯絡道路等周邊區域排水系統之檢討與 強化	鐵道局 臺鐵局	地方政 府、水利 署	✓		
		配合地方政府，進行商港區域周邊區域 排水系統及道路改善工程	港務公司 航港局	地方政 府、營建 署	✓		
		強化機場及其周遭聯外道路	民航局 桃機公司	地方政 府、營建 署		✓	
政策三： 提升科技技 術，達成防 災預警資訊 迅速傳遞	策略 1、 精進災防預警系統與技術	針對劇烈天氣致災機率研究分析並適度 參考、引用國內外新技術	高公局 公路總局	氣象局		✓	
		防災預警系統持續維護並精進	高公局 公路總局		✓		
		建立陸路氣象監測應用系統，持續精進 現有防災預警資訊傳送技術	氣象局	高公局 公路總局	✓		
		利用免費社群網路、行動載具 App 做為 資訊傳遞工具	高公局 公路總局 鐵道局		✓		

			臺鐵局 民航局 桃機公司				
		強化並精進人民防災及避災宣導	高公局 公路總局 鐵道局 臺鐵局 港務公司 航港局 民航局 桃機公司		✓		
		推動創新智慧氣象之數位服務，藉由及時定量氣象預報，落實氣象資訊於運輸系統之應用	氣象局	高公局 公路總局 鐵道局 臺鐵局 民航局 桃機公司			✓
		精進氣象雷達與災防預警，落實氣象雷達資訊於運輸系統之應用	氣象局	高公局 公路總局 鐵道局 臺鐵局 民航局 桃機公司			✓
		防災預警系統持續維護及精進並進行預警、行動值之檢討	鐵道局 臺鐵局 港務公司 航港局		✓		

		開發即時海象資料展示平台，提供即時海氣象觀測資訊建置	港務公司	運研所		✓	
		辦理強化「船舶自動辨識系統」(AIS)接收裝置並納入氣象局海氣象預報情資推播功能工作，及建立船舶氣象觀測系統	航港局 氣象局	港務公司		✓	
		精進「劇烈天氣監測系統」(QPESUMS)查詢系統，增加預警燈號、推播功能	港務公司	氣象局		✓	
		利用免費社群網路，將商港區域防災預警資訊迅速傳送相關防災人員及利害關係人	港務公司	航港局	✓		
		創新智慧海象資訊服務，建構智慧海象防災觀測網、環島異常波浪預警系統及臺灣海象防災環境資訊平臺，落實海象資訊於商港系統之應用	氣象局	港務公司 航港局			✓
		逐年編列充足預算於系統及設備建置	民航局 桃機公司			✓	
	策略 2、 應用科技強化運輸設施之巡檢與 監測	精進設施檢監測設備並適度參考、引用國內外新技術	高公局 公路總局 鐵道局 臺鐵局		✓		
		運用無人航空載具(UAV)實施港區設施巡檢及透過港區監視系統(CCTV)，隨時掌握港區最新動態	港務公司	航港局	✓		
		增加訊號通路建置使網路涵蓋範圍及穩	桃機公司		✓		

	定性提升					
	持續優化原有標準巡檢制度	民航局 桃機公司			✓	
	持續推行檢測檢查自動化、資訊化	民航局 桃機公司		✓		
	加強即時監控系統及精進監視設備	民航局 桃機公司		✓		
	試作及建立遠端監測、中控指揮系統	桃機公司			✓	
策略 3、 研發及運用有助提升衝擊耐受力 的材料、設備與工法	積極運用有助提升衝擊耐受力之材料、 工程設備及工法	高公局 公路總局			✓	
	持續推動運用提高勘災及復健效率之科 技技術、工具	高公局 公路總局	科顧室		✓	
	針對提升設施重建效率的科技、工法與 材料，國外新技術的交流與移轉及國內 各研發單位技術的交流	高公局 公路總局	科顧室			✓
	彙整國內外各研發單位技術	鐵道局 臺鐵局	科顧室		✓	
	逐年編列預算進行相關材料、工程、設 備的研究、開發及運用	鐵道局 臺鐵局				✓
	進行國外新技術的交流與移轉	鐵道局 臺鐵局	科顧室			✓
	逐年編列充足預算與研究單位合作進行 相關材料、工程、設備的研究、開發及 運用	港務公司 航港局			✓	
	彙整國內外各研發單位技術並參考引進 運用或進行國內外新技術的交流與移轉	港務公司 航港局			✓	

		強化原有設備設置後之維護及營運作為	民航局 桃機公司		✓		
策略 4、 持續導入及應用各項新興科技		針對極端天氣致災結果研究分析，並更新易致災路段	高公局 公路總局		✓		
		易致災路段預警、行動值滾動檢討	高公局 公路總局 鐵道局 臺鐵局		✓		
		於高風險邊坡進行無人航空載具（UAV）拍攝分析及防災預警對策研擬	高公局 公路總局 鐵道局 臺鐵局		✓		
		發展無人航空載具（UAV）於橋梁巡檢、河道沖刷紀錄比對、AI 辨識鋼橋銹蝕等應用	高公局 公路總局				✓
		應用遙測技術進行監測之資料分析及建立風險評估機制，並整合環境空間大數據資料庫	高公局 公路總局 鐵道局 臺鐵局				✓
		加強所需氣象資訊之提供及資料介接	鐵道局 臺鐵局	氣象局	✓		
		發展無人航空載具（UAV）於橋梁巡檢、河道沖刷紀錄比對、AI 辨識鋼橋銹蝕等應用	鐵道局 臺鐵局				✓
		推動災害事故通報線上化、資訊化	港務公司 民航局 桃機公司	航港局			✓
		建置雲端管理平台，俾利進行資料管理	港務公司	航港局			✓

		及分析工作					
		建立三維空間觀測系統，加強所需氣象資訊之提供及資料介接	民航局 氣象局		✓		
策略 5、 強化培育氣候變遷調適、防災專業人才		加強防救災人員對氣候變遷下劇烈天氣之認知、狀況警覺性、防救災作業程序及教育訓練	高公局 公路總局 鐵道局 臺鐵局		✓		
		針對可能遭遇之氣候變遷情境，辦理防救災演練	高公局 公路總局	地方政府	✓		
		建立氣候變遷調適與防災人才培訓制度	高公局 公路總局 鐵道局 臺鐵局				✓
		檢討現行防救災機制、任務編組妥適性	港務公司 航港局			✓	
		建立氣候變遷調適與防災人才培訓制度	港務公司	航港局		✓	
		針對商港系統氣候變遷調適議題辦理研討	港務公司 航港局			✓	
		蒐整各國內外商港氣候變遷因應作為及研究、災害應變案例等以編列教育訓練教材	港務公司 航港局			✓	
		建立氣候變遷調適與防災人才培訓制度	民航局 桃機公司	航政司			✓
		蒐整各機場致災案例及應變作為以編列教育訓練教材	民航局 桃機公司			✓	

		人員至國內外機場進行演訓觀摩交流及經驗分享	民航局 桃機公司		✓		
	策略 6、 持續進行國內外調適與防災資訊交流	與國內外調適與防災單位進行觀摩交流及經驗分享	高公局 公路總局 鐵道局 臺鐵局		✓		
		參加國內外相關研討會或座談會	高公局 公路總局		✓		
		與國內外商港進行商港系統因應氣候變遷調適作為之觀摩交流及經驗分享	港務公司 航港局			✓	
		與國內外機場進行機場系統因應氣候變遷調適作為之觀摩交流及經驗分享	民航局 桃機公司		✓		

註：各主、協辦機關於推動各項行動方案/措施時，可「因地制宜」綜合考量相關技術成熟度、政府財政狀況、城鄉差距及地方民情，適時調整。

國家圖書館出版品預行編目 (CIP) 資料

運輸政策白皮書. 2020 年版 / 交通部運輸研究所編. --
初版. -- 臺北市 : 交通部, 民 108.12

冊 ; 公分

ISBN 978-986-531-024-0(全套 : 平裝)

1. 交通政策 2. 白皮書

557.11

108020228

2020 年版運輸政策白皮書 - 運輸部門因應氣候變遷調適與防災

主辦單位：交通部運輸研究所 港灣技術中心/綜合技術組
研究人員：林所長繼國、陳副所長天賜、黃副所長新薰、
蘇主任秘書振維、謝主任明志、柯科長正龍、
許副科長義宏、林研究員雅雯、張研究員道光、
傅助理研究員怡鈞、黃助理研究員宇謙、
曾組長佩如、朱副組長珮芸、李副研究員仕勤

研究期間：自 107 年 1 月至 108 年 12 月

連絡電話：(04) 26587114

傳真號碼：(04) 26564189

2020 年版運輸政策白皮書 - 運輸部門因應氣候變遷調適與防災

出版機關：交通部

地 址：10052 臺北市仁愛路 1 段 50 號

網 址：<http://www.motc.gov.tw>

編 印 者：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版 > 數位典藏 > 本所出版品)

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國 108 年 12 月

印 刷 者：天下雜誌股份有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 400 冊

本書同時登載於交通部與交通部運輸研究所網站

定 價：一套 1750 元(工本費)

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組 • 電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市松江路 209 號 • 電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

GPN：1010802217 ISBN：978-986-531-024-0 (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。

