

氣象資訊於公路防災預警應用與實務

孟伯鈞 陳進發 陳文信 林意晴 賴佳聖
交通部公路總局

摘要

民國99年梅姬風災重創蘇花公路，造成人員傷亡事件，公路總局為提升山區公路行車安全，導入風險及流域管理概念，化被動救災為主動防災，應用與中央氣象局合作開發客製化QPESUMS，針對重點監控路段及橋梁，以累積雨量值為觀測指標，歷史致災經驗統計值為管理值，於劇烈天候下提供用路人預警訊息及執行道路管制應變作業。續應用中央氣象局提供小時累積雨量圖與山區公路重點邊坡位置套疊，開發全時高風險路段強降雨警示系統，於強降雨期間，發送警示簡訊，提醒公路管理人員守視應變，於無預警短延時強降雨頗具功效。另應用中央氣象局定量降水估計，就重點橋梁上游各次集水區平均降雨量計算，達各階段觀測指標時，以燈號警示，執行橋梁通行管制。以上各項氣象資訊整合應用，於警示階段，應用幸福公路APP即時路況、簡訊及路側風險資訊顯示系統等媒體，於警戒區域推播預警訊息，供用路人避災離災，維護通行安全。

關鍵字：QPESUMS、全時高風險路段強降雨警示系統、幸福公路APP即時路況

一、公路防災預警機制重要歷程

臺灣位處於天然災害發生的高風險國家，各地天然災害事件發生機率頻繁，且逐漸刷新歷史災害規模紀錄，因此防救災工作一直是國家施政之重點。公路總局管轄之部分公路依山而建，於地震、颱風及豪雨等劇烈天候影響，山區公路致災風險亦隨著尚無法預測之地震，降雨期間累積雨量提升而提高致災風險，甚至造成公路阻斷影響用路人安全。

早期公路養護單位以救災為主，於強風豪雨過後，調派機具人力於短時間內，搶通災阻路段，供臨時通行，對於易致災路段，更於事前預置機具，便於災後快速搶通。但強風豪雨期間道路開放通行，斷橋、路坍造成用路人死傷事件，傷害已形成，事後搶災救災，多為被動作為。

對於山區公路當時尚無封路機制。2010年10月21日於蘇花公路上因梅姬颱風外圍環流與東北季風共伴效應下，發生時雨量達200mm之強降雨，造成26條人命傷亡的慘痛經驗，公路管理觀念與方式必需要與時俱進，爰針對觀念上一改以往公路單位被動等候通報才啟動現場相關應變機制，改變為災前預判部署、災中預警應變、災後救援應變之主動積極應變機制，整套機制著重於預警。

究竟要如何取得災前預警之前置時間，在橋梁方面以有空間縱深之流域為監測主體，將警戒區由原來的橋址處拉至橋梁位址之上游，監控其降雨所

引致的水情變化，以流域空間縱深之特點取得前置預警時間（通常可有1~3小時），是謂「流域管理」。另於山區公路方面，因公路邊坡之地形並未具有空間縱深之特性，爰以風險管理概念評估選出致災風險較高之山區公路及降雨雨量，作為重點監控路段及觀測指標，惟以目前之科技水準，實無法精準掌握公路坍方時機，惟先依相關歷史致災紀錄及其當次降雨事件統計，並分析其致災機率所對應之降雨規模，律定行動門檻值，啟動事前備妥之行動應變方案，目的在控制公路於劇烈天候下之風險值，降低用路人於該路段罹災之機率，是謂「風險管理」。

運用「流域管理」及「風險管理」之概念模式，統計歷史降雨事件之經驗值，分析出保全標之物之降雨觀測指標與門檻值，結合既有在網路上各項資訊，於災前有節奏的進行每一階段之防災作為，是謂「公路防災預警機制」機制建置初期，利用有限之歷史災害記錄，統計各次災害受災時之24小時累積雨量值，並律定預警、警戒、行動等3項觀測門檻值，歷經2011年桑達、南瑪都、馬鞍、奈格等颱風之考驗，發現實務封路操作之行動方案中未考量長路段之車流淨空時間，單一之24小時累積雨量觀測指標對於短延時強降雨無法即時反應等待改進事項。

於是於2012年起，再次從歷史災害記錄中，律定出10分鐘、1小時、3小時、24小時等多重降雨指標，並於各降雨延時間導入「且」、「或」等邏輯值，舉例某路段其行動值為1小時累積雨量達60mm且24小

時累積達250mm，或3小時累積達150mm，如此更能符合實際風險狀況。

續於2014年起即增加採用氣象局每10分鐘產出的小時累積雨量分佈數位圖資，建構完成全時高風險路段強降雨警示系統，以面取代以往單點雨量站的監控方式。

而在橋梁上游集水區之降雨監控，突破了以往採單點特徵雨量站代表集水區降雨狀況，而是與氣象局合作，利用劃分162個流域次集水區，運用數位化網格點計算該次集水區平均降雨規模，已於2015年5月上線使用，並歷經5月20日豪雨及8月8日蘇迪勒颱風與現地河川流況之比對驗證，成效良好，比較以往採特徵雨量站模式能更精準掌握實況，更有效的控制致災風險。[6]

二、氣象資訊於公路防災預警應用

(一).客製化QPESUMS

承蒙中央氣象局全力協助，於該局劇烈天氣監測系統QPESUMS(如圖1)，依公路總局業務需求，開發客製化功能，就一級監控路段、二級監控路段、一級監控橋梁、淹水泥流水瀑及浪襲路段等，建置監控氣象資訊網頁，主要針對重點監控路段及橋梁，以累積雨量值為觀測指標，歷史致災經驗統計值為管理值，於劇烈天候下提供用路人預警訊息及執行道路管制應變作業。網頁以容易操作黃橙紅色燈號顯示，當強降雨發生時，監看人員依燈號顯示，配合事先率定的應變程序操作。

公路總局於2011年甫建公路防災預警機制初期，係商請氣象局於劇烈天氣監測系統中客製化，主要係藉由實體雨量站之觀測結果，搭配易致災路段所律訂之預警、警戒、行動等門檻值，自動由系統判釋並以黃、橙、紅等3種燈號示警，目前已由原來單一降雨指標演進至多重降雨指標。



圖1客製化劇烈天氣監測系統QPESUMS

(二).全時高風險路段強降雨警示系統

前述藉由實體雨量站降雨指標美中不足的地方，仍是由雨量站之點位降雨情形代表其他附近路段。於是於2014年起結合氣象局每10分鐘固定

產出之即時小時雨量累積圖數化網格，套疊於公路總局已完成邊坡分級點位圖，即可由系統全時段且全面性的自動預警，此一風險訊息除傳遞公路管理人員外亦可透過警廣、可變資訊系統、災害緊急廣播簡訊服務傳遞給用路人，即時揭露前方路況訊息達到避災之效，自2014年5月上線使用迄今，系統已準確發送超過330萬則警訊，尤其以午後熱對流或是無預警短延時強降雨，均能掌握住強降雨範圍及其高風險災害類型與位置。該系統主要係由小時累積雨量圖原始色階自動篩出強降雨路段(取代人工作業)，氣象局依雨量站資訊做計算推估，而將台灣劃分為72,000格網格，每一個網格約為1平方公里之大小。將網格套疊目前邊坡所在位置，先將72,000筆資訊縮減為約8,000筆資料，再將強降雨路段比對邊坡分級點位，目前公路總局設定條件係以時雨量值做為判斷依據，30mm以上為黃色警戒，50mm以上為橙色警戒，70mm以上為紅色警戒，若為B級以上邊坡落入警戒範圍則自動發送簡訊告示，並即時呈現於公路防救災決策支援系統上，詳如圖2。同時為求簡訊減量，同一則警戒資訊於3小時內不再重覆發送，3小時確認其警戒尚存在時，再予發送，該系統不僅解決第一線同仁監控實體雨量站之困擾，且能全時段自動監控。[6]

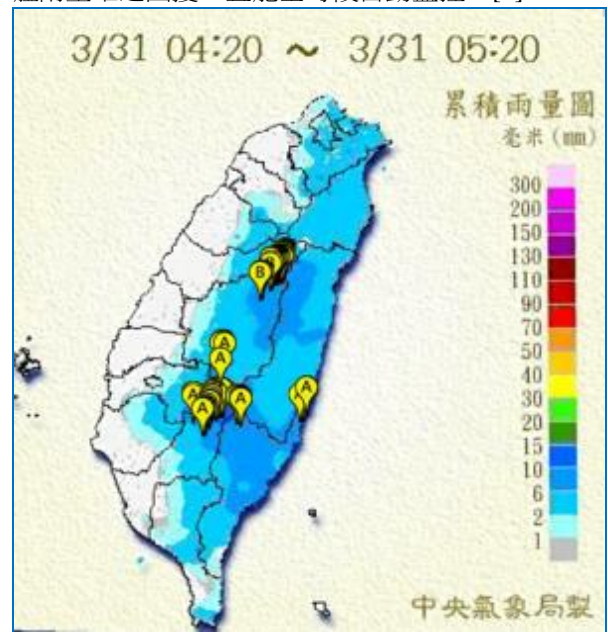


圖2全時高風險路段強降雨警示系統

(三).全流域次集水區降雨觀測

目前中央氣象局利用定量降水估計(Quantitative Precipitation Estimate, QPE)，透過雷達觀測與實體雨量站量測值，進行比對及誤差修正，藉此提供大範圍、空間上較均勻且解析度較高之降雨資訊，以解決實體雨量觀測站佈設密度不足之侷限；此外，為細緻觀察河川行經之水情，依據水土保持局之次集水區劃分範圍，將整體流域區分

數個次集水區，並利用定量降水估計計算各次集水區之平均降雨量，透過各次集水區之降雨門檻值律定及即時降雨演算比較，即可啟動公路防災預警應變機制。

水利署已將全台劃分數個流域分區，然而各流域所包含之流系甚廣，若以整體流域範圍進行平均降雨量之計算及監控，因範圍較廣以致無法細緻反應局部集水區之水情資訊，且許多橋梁座落於同一流域內，若以同一流域平均降雨指標監控不同橋梁，其客觀性亦有待商榷。因此，為了客觀且細緻地監控整體流域，利用水土保持局所劃分之次集水區範圍，將全台流域範圍細緻區分為162個次集水區，並透過實體雨量站修正氣象雷達觀測訊號後，可進行各次集水區範圍之平均降雨量計算。

藉由水土保持局之次集水區域劃分及中央氣象局網格化定量降水估計之演算，即可細緻掌握全台集水區或流域之降雨情形，同時為能量化各次集水區之平均降雨量，公路總局協請中央氣象局將各次集水區之逐時及分時平均降雨量客制化建置於劇烈天氣監測系統（QPESUMS），如圖5所示，透過量化之監控，更能清楚掌握降雨分布及流域降雨情形。[2]



圖3次集水區平均降雨量建置於QPESUMS

(四).幸福公路APP即時路況

以上各項氣象資訊整合應用，於警示階段，應用幸福公路APP即時路況、警廣等各項媒體，於警戒區域推播預警訊息，供用路人避災離災，維護通行安全。公路總局開發「幸福公路APP」，讓用路人走到哪，路況資訊跟隨著播到哪。透過這個新一代的智慧APP，可據以調整行車路線，讓行程變得更有效率安全。[4]

它的特色：

1. 交控中心隨時收集路況（事故、事件、壅塞等），即時標註於應用程式的地圖上，當您行經該地，幸福公路即會提醒您前方路況資訊，無縫提供路況資訊。

2. 個人化、適地性的資訊服務，只提供您當地、當時所需要的路況，讓您不會被龐大無關的路況淹沒、打擾。

3. 除了本局所轄省道外，整合高速公路、快速公路、市區道路（陸續）的資訊看板、路況攝影機等，為最完整交通資訊平台。

4. 國道替代路徑資訊結合即時旅行時間比較、地圖顯示與語音播報，協助駕駛人適時選擇行駛替代道路，並做必要的導引，降低迷路的可能。

5. 除了路況外，更提供單鍵撥打用路人服務中心電話通報反映大小事、探索公路介紹道路沿線景點，並以擴增實境（陸續建置）增加樂趣、公路之美攝影作品等許多好玩的功能等您發覺。

6. 個性化風格的好玩應用程式，可以自訂個人風格的畫面，選擇自己想要的資訊。

請透過「Google Play」及「APP Store」，搜尋「幸福公路」下載安裝使用，隨時掌握各項省道交通資訊，順暢通行！

如圖4 Android QR Code。圖5 iOS QR Code。



Android

圖4幸福公路APP Android QR Code



iOS

圖5幸福公路APP iOS QR Code

三、公路防災預警機制

公路總局自民國100年起建置並推動公路防災預警機制，於劇烈天候下藉由橋梁「流域管理」、山區道路「風險管理」以及各項預警系統做出預警決策，以避險警示來疏導民眾。藉由24小時監看重點監控路段橋梁，運用系統介接自動化告警搭配CCTV檢視啟動道路巡查機制，確保用路人行車之安全。必要時實施封橋封路之管理手段，以減少災害損失達成「人命保全」的目的。

公路防災預警機制

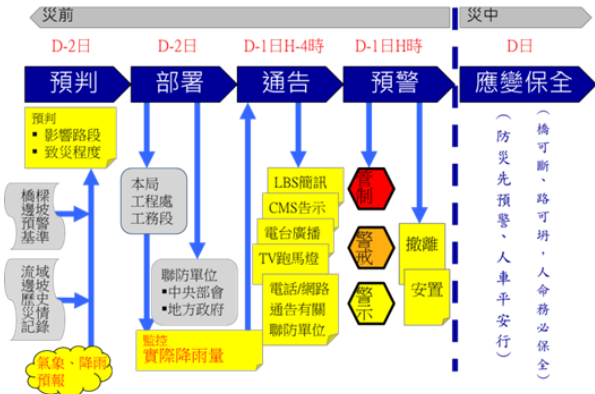


圖6公路防災預警機制

公路單位歷經數次公路災情，深切檢討後採預判、部署、預警、應變等4階段之作為，如圖6所示，其重點為需於災前即應完成所有工作，而非等到真正颱風豪雨來襲才啟動機制應變，是無法有效的防止人車傷亡，然而真正的防災不應只是公部門需應變，而是要全民防災才能有效的防止人車傷亡，所以特別於2014年間於預警階段前增列通告階段，旨在透過多管道傳遞所加值之訊息，接收者依其對象不同，內容亦應有不同，概可區分為3個族群，分別為政府單位(Government)、媒體(Media)、民眾(People)，簡稱訊息傳遞G.M.P.。因此，於災前時期首要工作即是預判，而預判階段之首要工作則是設定D日。D日既係超大豪雨攻擊日，則不免於部份路段會發生公路災情，因此災中之起算則係從D日開始，為防止人車傷亡就必須將所有預警應變作為於D日前完成[1]。

經多年應變操作，颱風豪風一般可以災前、災中及災後等三階段作業如圖7所示。

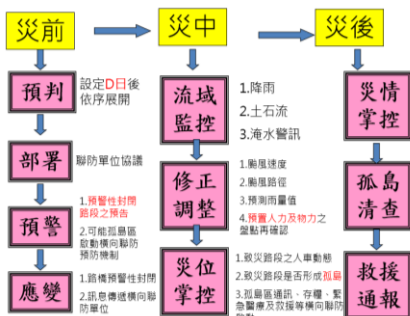


圖7公路防救災節奏

防災作業首重預警性封閉路段預告，用路人接收預警訊息後，主動配合調整行車路線及時段，避行高風險路段及時段。以104年8月蘇迪勒颱風為例，蘇花公路常時尖峰流量為800輛/每小時，尖峰流量約出現在每日10：00～15：00，如圖8中顯示於8月7日尖峰流量僅253輛/小時，出現於早上11：00，主要原因在於公路管理單位實施了公路防災預警應變機制，於是日早上10：00透過電子媒體、警廣、災害緊急廣播簡訊服務(LBS)等推播管道，發布蘇花公路警戒報，說明風險已達警戒層級建請勿入，尖峰小時交通量瞬即減少68%，另再於是日14：00發布行動報公告16：00只出不進，18：00全線封閉訊息，交通量由93輛/小時小幅增加搶進車輛至130輛/小時。透過交通量數據之消長顯見公路管理單位依據風險推估所實施之預警訊息推播相當具有成效(詳如圖8蘇花公路蘇迪勒颱風期間交通量消長圖)，可顯著的降低災前之曝露度，降低未封路前之罹災風險。[6]

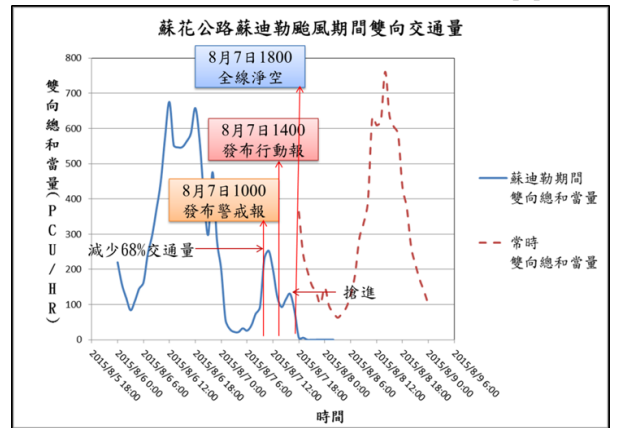


圖8蘇花公路蘇迪勒颱風期間交通量消長圖

四、公路智慧防災應用

對於山區公路養護單位而言，其管理之責隨著近年受到氣候變遷與極端氣候持續威脅越趨艱辛，如何運用各項科技設備及技術，實施災害防救科技之研發或應用，協助基層人員減輕防救災作業負擔有其必要性。另一方面，如何適時公布將山區風險資訊傳遞予用路人以達避災、離災，對管理單位而言亦是重要課題。

公路總局將既有業務成果資源整合，以風險管理及運用科技於公路災害防救業務，將災害傷亡損失降至最低，達到更安全、有效率的智慧型公路。

對於山區道路，所處環境因素無法改變情形下，研擬相關防避災工程，並輔以相關管理措施(地滑監測及預警)、智慧化科技應用，藉以提升公路防災能力(符合民生公共物聯網計畫之目標)。以「智慧化技術應用」及「防災管理」兩大項目執行。[5]

(一).智慧化技術應用

1.建置落石告警資訊系統

先期以台9丁線(蘇澳至東澳)為主要標的。平時管理單位藉光達測量、UAV/UAS等遙測技術進行科技巡檢航拍監測，察覺邊坡脆弱點位(A級邊坡)，尚無法以防災工程方法遠離災化之路段為設置原則，藉由設置落石防護網，並於近端、遠端建置落石告警資訊系統。其中，落石告警資訊系統於公路邊坡之應用部分，配合感測儀器量測落石防護網之鋼索應變以重量或動能來做為崩落判斷的依據，透過網路傳輸相應之訊號，立即通報公路管理者，另亦可透過紅外線光柵偵測器或攝影機，輔助隨時監控現況。於擇定設置落石防護網之遠段及近端，增設告警系統以警示燈號、LED警示看板，並於近端搭配蜂鳴器，聽覺加成即時提示用路人儘速評估駛離易落石區域。如圖9。



圖9落石告警資訊系統

2.設置路側風險資訊顯示系統：

公路總局因應劇烈天候情境發展，透過歷史災害比對其致災雨場降雨觀測值，運用SPSS統計分析軟體邏輯式回歸分析，建立崩塌機率數理模型，利用大數據分析進行風險之推估，於公路防災預警機制提供決策輔助，近年運用山區公路於劇烈天候下之崩塌機率分析，將崩塌潛勢能劃分為中度、中高及高，結合公路防災預警機制中之預警、警戒、行動應變等級，解決未能同時考量短延時強降雨或長延時累積雨量之問題，具有相當高的決策支援價值如圖10蘇花公路風險機率圖。爰此，透過增設建置路側風險資訊顯示系統，於路側設置系統說明牌面資訊並以燈號顯示風險量級，將山區邊坡遭遇颱風、豪雨侵襲下其邊坡崩塌機率資訊，提供予預計前往路段之用路人即時風險(崩塌機率)資訊揭露。

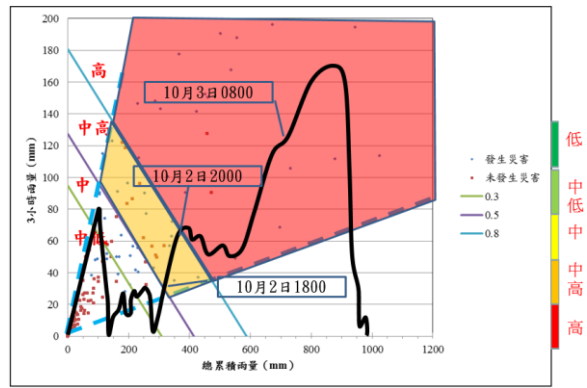


圖10蘇花公路風險機率圖

3.交控設施及資通訊科技設備應用：

以用路人為中心，提供民眾所關心的即時服務資訊，應用各種防救災訊息傳遞管道予用路人(如：CMS、警廣、落石告警系統、路側風險資訊顯示系統、LBS/CBS等)。另於災害期間如何利用交控設施及資通訊科技設備快速輔助防救災作業分為2階段執行：第1階段以資訊系統建置為主；第2階段先就既有VD資料了解應用限制及成果可行性，應用車輛偵測器站點間車流量、旅運時間、CCTV影像等邏輯及設備判視，初步判讀道路有無發生災害以致阻斷情形。其後，再行根據初判成果研議增設交控設備之需求，以逐步提升資料細緻度(如AVI、全時錄影、迴圈式VD等科技設備)。根據系統存取之數據庫分析事件，近一步化為後續搶救災人車受困查詢支援工具，減少第一線同仁徒步巡查耗費之時間以爭取時效，亦可提升巡查人員之安全，進而保障用路人無價的生命財產安全。

(二).防災管理：

防災管理面仍以建構在風險管理之公路防災預警機制基礎上，啟動注意、警戒、行動3階段等應變作為，逐次以降低交通量之作為，減少災害發生時之損失。由於現今科技無法操控及避免天然災害的發生，唯有設法於天然災害侵襲下，讓生命與財產損失減至最低，當邊坡受到颱風、豪雨累積降雨影響，脆弱度即崩塌機率相對提高。因此，在無法改變危害度與脆弱度時，藉由控制交通量為手段可有效直接降低山區致災風險。

藉由公路防災智慧執行項目，對於尚未進路高風險路段區域之外用路人，公路管理人透過LBS/CBS、CMS、警廣等推播管道以及路側風險資訊顯示系統提供中高風險以上資訊，讓用路人得評估即時改道或提醒用路人道路風險資訊(防線1)，當已進入區域路段內之用路人透過遠端落石告警資訊系統(防線2)，覺察前方易落石區域內危害風險，修正旅行路線或於路側停駐空間待危害解除後再行通過；對於，已行駛在落石區域用路人，近端落石告警資訊系統(防線3)，提前於落石崩落削減動能前發

送告警，警示儘速駛離。另對於可能因災害發生造成車輛受困情形(防線4)，初期運用交控設備輔助判讀亦運用大客車/遊覽車車輛動態系統平台資訊，檢視車輛動態情形及位置，通報聯繫，快速掌握災害現場(如圖11公路智慧防災4道防線)。



圖11公路智慧防災4道防線

五、結論

感謝中央氣象局邀請參加108年天氣分析與預報研討會，以莫拉克颱風10週年之回顧與展望為題，借此機會，特將公路總局陳副總工程司進發、陳段長文信、賴科長佳聖及林分組長意晴，近年所發表公路防災預警應用與實務文章節錄以饗讀者。

公路防災預警工作，需有策略，逐次設定未來情境發生可觀察的氣象特徵，加以監控，然後逐次的依可能發生的情境展開部署，所以在情資研判階段，就需要推演未來可能發生的情境及其部署策略，而其啟動標準則是事前所設定的氣象特徵。

此為災前看雲，災中看雨，內緊而外鬆的策略運用，自2011年公路總局實施「防災預警應變機制」以來，截至2018年底止，全局共經歷343場劇烈性天候，惟有賴防災人員，對於預機制之熟稔結合前端氣象情資之應用，化被動為主動，8年來一共預警封路達1109處(次)，其中於封路後發生大規模災情計有531處(次)，所幸道路業已先行封閉並無人員傷亡，如圖12所示。

實施新制後預警應變作為

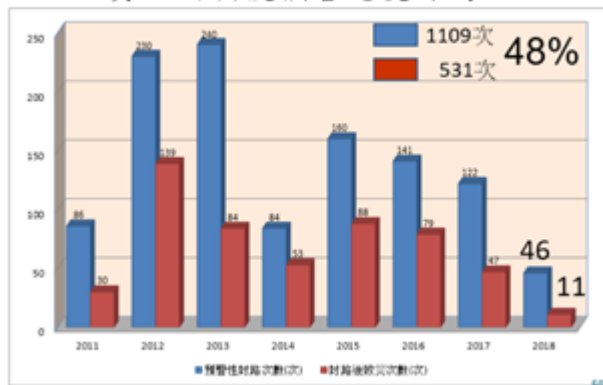


圖12預警性封路及封閉後致災次數統計圖

公路總局持續推動公路智慧防災工作，以風險管理為主軸，應用物聯網概念為架構，透過路側風險告警系統及遠段近端落石告警資訊系統，將用路人預計前往路段之即時風險資訊揭露，提供即時防災資訊，亦作為公路管理人應用決策輔助的新氣象資訊。整合防災科研資源，拓展服務能量，有效運用跨域資源，將防災預警資訊與用路人鏈結，達到防災、避災效果，提升山區公路行車安全的施政目標，維護安全通行的幸福公路。

六、參考文獻

- [1] 陳進發 104年：“氣象資訊於台灣公路防災之應用與實務” 104年天氣分析與預報研討會
- [2] 陳文信、賴佳聖、陳進發 104年：“次集水區降雨觀測於橋梁防災預警之研究” 104年天氣分析與預報研討會
- [3] 陳文信 陳進發 顏召宜 賴佳聖 104年：“山區公路邊坡強降雨監控與管理” 臺灣公路工程 [民104.02] 頁28-39
- [4] 公路總局 108年幸福公路APP即時路況介紹資料
- [5] 林意晴 108年 公路智慧防災應用介紹資料
- [6] 陳進發 106年8月 “台灣公路防災概論”初版 交通部公路總局 台北市