颱風來了你「災」嗎

郭文達、林嫩瑛、高宏名、洪健豪、王豪偉、張雅琪、黃雅喬

颱風並不可怕，可怕的是所造成的災害。
但若能了解災害發生的成因，配合災害預警或監測系統，
便能避免生命財產的損失。

台灣位於西北太平洋颱風路徑的要衝，因此經常受到侵襲，居民對於颱風每年的造訪也已司空見慣。所造成的災害包括風災與水災。在颱風期間最常聽到的就是電訊及電力設備被強風吹毀，造成多戶居民無電可用。除此之外，貨櫃、鐵皮屋、水塔等被強風吹到馬路上的事件也層出不窮。2016 年的莫蘭蒂颱風伴隨的強風，甚至讓堆疊的大型貨櫃如骨牌般掉落，大街上的廣告招牌也被風吹得搖搖欲墜，令人怵目驚心。

2016 年梅姬颱風於大遼支線溢淹（圖片來源：颱洪中心）

淹水

除了強風外，會讓民眾很有感的莫過於颱風所挾帶的豪雨造成的災害，淹水就是其中之一。根據河川管理辦法的定義，「堤外」指的是堤防的臨水面，即堤前；「堤內」則是指堤防的臨陸面，即堤後。以河川下游平原的都會區而言，可能遭受到的淹水威脅，一般可簡單地歸納為「外水類」與「內水類」兩部分。

「外水類」指的是來自河川中上游山區的洪水，因下游河川通洪能力不足，無法在短期間內負荷大量的水體，導致河水溢淹過堤防，在都會區內產生溢堤型的淹水。例如新北市三峽區就常因三峽河的水位暴漲，洪水漫出堤防進到居住區域，形成外水侵入的淹水災情。「內水類」則是豪大雨降在都會區，因排水系統作用失效，或因地勢低窪，水體無法立即往外部排出，直接影響居民的生活。例如宜蘭縣冬山鄉在颱風來襲時常有淹水景象，便是因這地區的排水系統不及宣洩持續的降雨所造成。

2016 年梅姬颱風於典寶社區內水淹水（圖片來源：颱洪中心）

造成外水淹水的原因甚多，包括洪水沖刷大量泥沙使得河道淤積阻塞，河川通水斷面縮減，閘門、橋梁或取水設施設計不佳，抑或堤防高度不足等。至於內水的起因就稍微複雜一些，例如排水道或入水孔堵塞、排水渠道設計不良、抽水站抽水排水能力不足或地勢低窪，都會導致排水不利因而淹水。

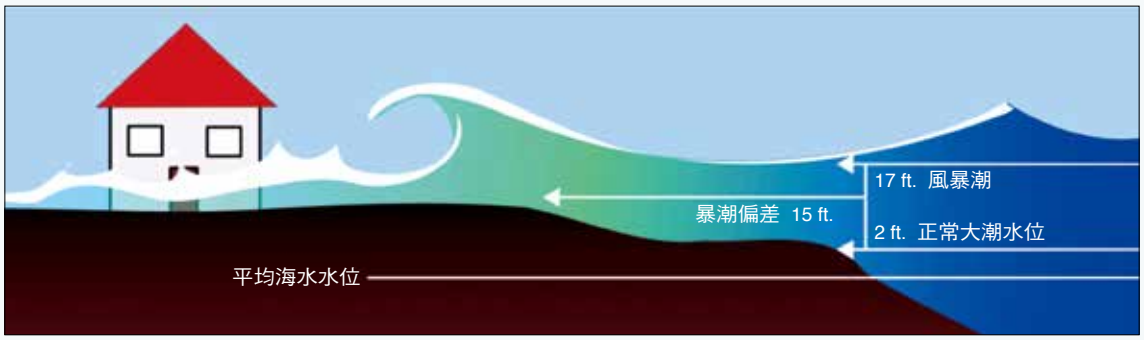
面對淹水的災害，過去在防洪減災的藍圖上，都把外水勾勒為「線」的問題，只需注意整治流經居住區的河川段。內水則視為「面」的問題，對於降在居住區內的雨水，須考量在地特性，興建滯洪池、排水系統等設施，或增加透水鋪面，改善整體的排水系統，期能達到防災減洪的功效。

近年來，政府更是大力推動以流域治理為整體考量，並以「上游保水、中游減洪、下游防洪」為目標。整體綜合治水對策則包括：在工程方面的河道與下水道相關設施的整備，以及如貯留、滲透等減洪設施的整備；在非工程方面，則有土地利用適宜政策、防洪預警系統、提升民眾防洪意識等。

颱風暴潮災害

颱風除了會帶來強降雨造成淹水外，颱風暴潮也會使沿海低窪地區淹水。颱風暴潮是沿海水位因颱風而產生的水位上升現象，在淹水災害中，常扮演著影響河道與下水道疏洪能力的角色。當颱風暴潮使河道下游水位上漲時，又因強降雨產生大量洪水，這股巨量的水無處宣洩，就往河道上游及下水道堆積，終而漫流至地表，甚至影響到城市居民生命與財產的安全。

颱風暴潮的現象可由沿海潮位站觀測到的水位變化中抽離出來，當颱風的風力越強，或颱風外圍與颱風中心的氣壓差變化越大時，颱風暴潮水位上升的情形會越加明顯。2013 年蘇力颱風侵襲台灣時，沿海潮位站就觀測到明顯的水位上升。因此，



在高潮位時形成的颱風暴潮（資料來源： https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2264485）

當陸上洪水往下游宣洩時，若沿海水位適逢大潮與颱風暴潮發生，上漲的沿海水位除阻斷了洪水宣洩的路徑外，嚴重時還會有海水倒灌的情形，因而加重陸上的淹水災情。

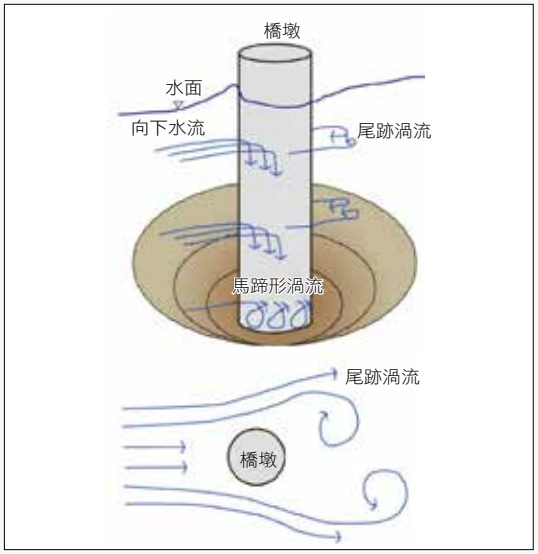
以 2001 年的納莉颱風為例，當時所造成的強降雨使得台北市各河道水位急速升高，而且正逢農曆八月初一的天文大潮，再加上颱風暴潮的影響，洪水無法及時往下游宣洩。又因基隆河與內溝溪的聯繫堤防於颱風期間尚未建置完成，種種因素導致河水直接灌入市區，造成不少淹水災情，其中又以台北捷運板南線淹水情形最為嚴重。

為能了解颱風侵襲台灣時，沿海水位上升程度與發生的時間，建置颱風暴潮水位預報系統相當重要。颱洪中心近來結合了颱風系集預報的結果，進行多組颱風暴潮預報的模擬，以掌握颱風強度與登陸位置的不確定性對颱風暴潮強度與發生地點的影響，並提供台灣沿海水位的預報，幫助災害管理者判斷沿海地區的淹水風險，以利後續的災害管理與防治措施。

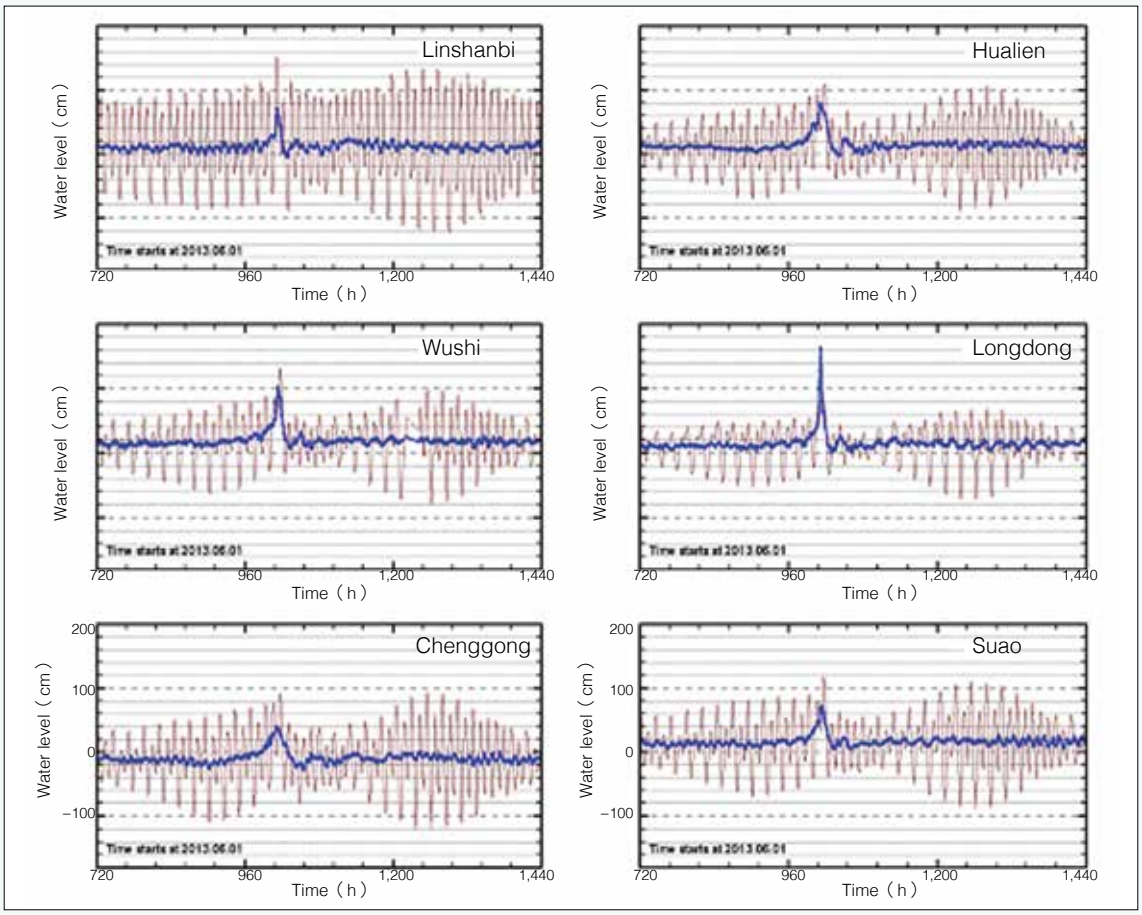
橋梁災害

颱風豪雨期間，洪水常夾帶大量的土石及漂流木，對河川中跨河橋梁的安全造成很大的威脅。2008 年大甲溪后豐大橋在

2008 年大甲溪后豐大橋斷橋（資料來源：颱洪中心）



橋墩沖刷機制（圖片來源：轉繪自愛達荷州交通廳的沖刷危險橋樑行動計畫手冊）



台灣沿海潮位站於 2013 年 7 ～ 8 月間的水位觀測結果（紅色實線）。藍色實線是濾掉天文潮後的蘇力颱風所引發的暴潮水位變動情形。這圖顯示的 6 個潮位站分別是麟山鼻（Linshanbi）、龍洞（Longdong）、烏石（Wushi）、蘇澳（Suao）、花蓮（Hualien）與成功（Chenggong）潮位站。

辛樂克颱風侵台時倒塌就是一例；很不幸地，這次斷橋事件造成了 3 車落水，6 人喪生。2009 年時，連接高雄市林園區與屏東縣新園鄉兩地的雙園大橋被莫拉克颱風引發的高屏溪洪水沖毀，造成 8 車 12 人落橋失蹤。

斷橋原因除了因強大的衝擊外力（如漂流木、土石流等）造成橋梁結構體的破壞外，也會因洪水沖刷破壞橋址處河床（即橋墩沖刷現象）而導致。何謂橋墩沖刷？那是當洪水通過橋墩（跨河橋梁的下部結構）附近時，因橋墩的阻礙造成河道通水斷面減小引致水流流況改變，進而使橋墩周圍河床發生沖淤變化。其物理機制甚為複雜，包括：類似垂直射流的向下水流、沿橋墩周圍的三維性馬蹄形渦流、橋墩下游側的尾跡渦流等。

其中，馬蹄形渦流會把橋墩周圍沖刷坑的泥砂運移至下游，尾跡渦流則會與馬蹄形渦流產生交互作用，使運移至下游的泥砂堆積在橋墩背水面底床，有學者指出向下水流更是造成橋墩沖刷的主要作用力之一。另橋墩受洪水作用後，橋址處河床面

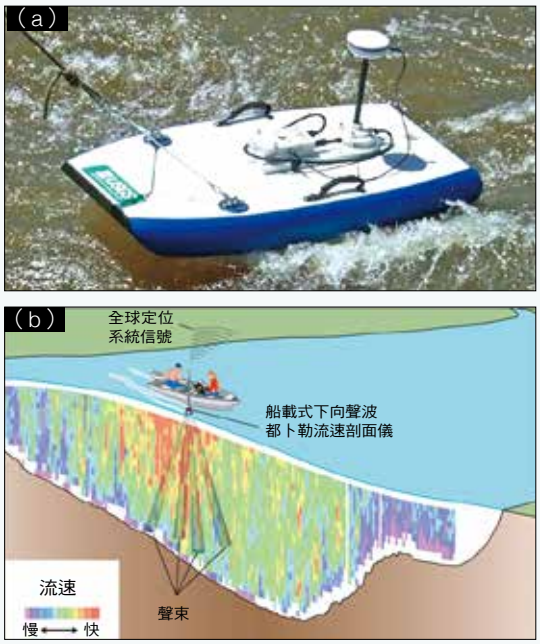
會比橋梁建造時下降，當河床面下降到一定程度時，若造成橋墩基礎裸露，橋墩會因此失去穩定性，嚴重時會造成橋梁沖毀。

橋梁的安全既然如此重要，該如何建立一套有效的橋墩沖刷監測預警系統呢？一般而言，透過儀器監測或數值模式估算，於颱洪豪雨期間，針對具沖刷危險的橋梁進行預防性的封橋，等颱洪退水河道穩定後再重新開放橋梁供用路人通行，就是土木水利工程從業人員所需面對的一大課題。

簡單講，橋墩沖刷監測就是監測橋址處附近河床的變動量；這看似簡單，其實不然。颱洪期間，洪水會夾帶大量土砂運移，甚至有漂流木撞擊橋墩等問題，監測儀器如何在惡劣的水文情況下發揮監測的功能，克服耐候及供電問題，並即時提供確實的監測數據，以進行相關橋梁的管理措施（封橋或重新開放），這實是一大考驗。

沖刷觀測系統的建立可有效掌握橋址河床的變動量，並有助於橋梁可靠性的預警，確保用路的人車安全。這些年來，政府與學研單位合作致力研發可行的橋墩沖刷監測儀器。

一般來說，橋墩沖刷監測儀器可分為直接觀測與間接觀測兩大類。前者是指觀測儀器不需透過訊號與物理參數的率定，就可直接獲知底床位置（高程），如利用編碼的磚塊，於洪水前埋入河床，待退水後再開挖河床，記錄遭洪水沖走的磚塊數量，就可得知沖刷深度。至於後者是指利用各種物理量（如聲波、電磁波、振動頻率等）的變動來決定底床位置並獲得沖刷深度。沖刷觀測方法眾多，惟目前仍無一真正可達到作業化運作的階段，在耐候與訊號傳輸穩定及後處理的便利性上仍須努力。



聲波都卜勒流速儀的（a）河川斷面變動觀測實景及（b）河床斷面及流速分布觀測示意。（資料來源：Mueller et al., 2013）

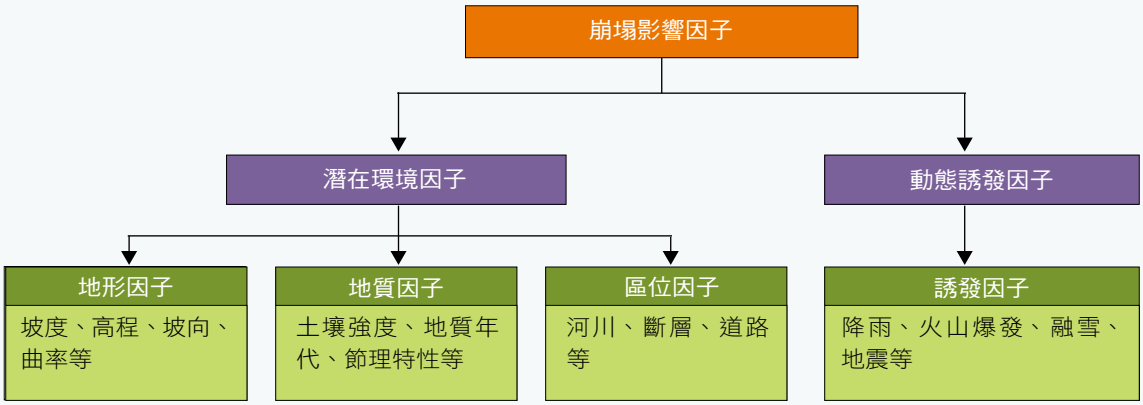
坡地災害

颱風除了造成上述的淹水、暴潮還有橋梁等災害外，也時常引發坡地崩塌災害。台灣的山坡地占了全台面積的四分之三，在產業發展與人口增長的壓力下，山坡地的開發日益蓬勃。當民眾往山坡地定居發展時，坡地災害也會隨之產生。

何謂「坡地災害」？山坡地因受到風化作用，或岩層本身的構造，使得岩石及土壤慢慢崩解或分解，又因一些外在因素，如風吹、雨水、地表水等侵蝕以及重力影響，以崩塌（山崩）、滑動（地滑）以及流動（土石流或泥流）等方式往下坡方向移動，造成道路損壞、果園流失、村落被掩埋，甚至危及生命財產的安全。為保障

沖刷觀測系統的建立可有效掌握橋址河床的變動量，並有助於橋梁可靠性的預警，確保用路的人車安全。

只要有豐富的土砂堆積物、充足的雨水，以及足夠大的坡度，都可能形成土石流。



崩塌影響因子

民眾的安全，坡地災害的防治與減災也成為大家迫切關心的議題。

土石流主要指各種土、砂、礫、石等材料與水混合後所形成的流動類型，像是泥流、土流、泥石流等。只要有豐富的土砂堆積物、充足的雨水，以及足夠大的坡度，都可能形成土石流。而崩塌主要是指邊坡土體（包含岩體）受到降雨、地表與地下逕流、地震及重力作用下，使其失去平衡往山坡下方掉落的現象。這些土體在掉落的過程中會有許多不同的型態，因此一般文字中所稱的落石、地滑、山崩等都屬於這一類。

崩塌災害又可分為深層崩塌與淺層崩塌，其中又以後者較常發生。引發崩塌的因素眾多且複雜，例如坡度、地質特性、降雨量等。據研究，崩塌的影響因子多達五十幾種，但在台灣造成崩塌的誘發因子大多數是颱風期間所帶來的大量強降雨，少部分則是由地震所引起的。

目前國內對於坡地災害的預警以土石流災害為主，主管機關水土保持局依不同地區條件與歷史災害資料，訂定了土石流警戒雨量基準值，做為防災疏散避難的參考指標。然而，對於坡地崩塌方面則尚未有完整的防災體系，因此各單位已積極投入崩塌的研究，希望能發展出一套完善的預警模式，以增加防救災的應變時間，減少損失及傷亡。

或許，下次聽到颱風即將侵台時，不用過分地擔憂；颱風本身不可怕，可怕的是所造成的災害。但若能了解災害發生的成因，配合災害預警或監測系統，便能避免生命財產的損失。

郭文達、林嫩瑛、高宏名
洪健豪、王豪偉、張雅琪
國家實驗研究院台灣颱風洪水研究中心

黃雅喬
台南市政府水利局綜合企劃科