



天災環境下 — 防災意識的覺醒與防災新思維

張荻薇 / 中華民國結構工程技師公會全國聯合會 理事長

台灣位處環太平洋地震帶，又居颱風正衝，深受天然災害的威脅。依 2005 年世界銀行的「天然災害風險分析」報告中指出，台灣有七成的人口與面積遭受天然災害的威脅，天災風險居世界之最，台灣的天災環境令人憂心。2011 年東日本大震災，造成地震、火災、海嘯、核災等的複合型大巨災，受災主因是地震規模超乎預期，災害超出所有的防禦設施及防災對策的極限，所以超乎預料的災害，是難予控制的。

自然力的強度無限，而人類的能力有限，我們可以應用科學與工學的方法來建設硬體的防災構造，但更重要的是要記住天災的威脅與教訓。天災風險不會是零，我們必須竭盡所能來減緩天災的威脅，才能夠有安全的環境，過著安心的生活。本文旨在論述台灣的天災環境及工程建設的天災風險，並對防災的新思維與防災策略的發展趨勢等課題提出看法。

前言

天然災害將帶給人類的未來，有著不確定的災害風險，而受災風險的大小，將依其所處的自然環境、社會條件及時間因素等，有很大的差異（圖 1）。

依世界銀行 World Bank (2005)「Natural Disaster Hotspots – A Global Risk Analysis」報告^[1]指出，台灣有 73.1% 的面積與人口面臨颱風、洪水、地震及山崩等天然災害的威脅，是世界上天災風險最高的國家；依 2015 ~ 2025 Lloyd's City Risk Index 台北城市風險指數排名全球第一^[2]。身處全球天災風險最高的台灣，如何改善災害環境，做好災害應變，以建構安全、安心的防災城市，是極為迫切且重要的課題。

在面臨全球暖化、氣候變遷，天然災害日趨激烈頻繁的環境，我們要如何採取有效的防災策略來減少災害的損失，保障人民的身家安全，是身為工程師必須思考的問題。人類因一再的遭受天災的威脅，喚醒了大眾的災害意識，防災的思維與防災戰略也有了新的發展。基於此，本文將就此發展趨勢作概要的論述，並對台灣的天災環境與天災風險，以及災害防治等課題提出看法，供諸位先進參考。

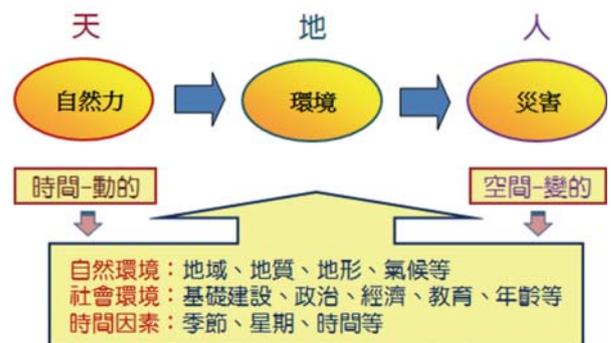


圖 1 天災是未來不確定的災害風險 — 主要決定因子在環境

防災意識的覺醒

全球暖化、氣候變遷已被證實與天然災害有密切的關係，它將使人類未來的災害風險增高，依聯合國「政府間氣候變遷專門委員會」(Intergovernmental Panel on Climate Change, 以下簡稱 IPCC) 2007 (AR4)^[3] 指出，全球暖化將使颱風、極端降雨、海平面上升、乾旱等極端氣候更趨激烈，它是造成洪水、土砂災害(山崩、土石流)的主因。IPCC 2014 (AR5)^[4] 更指出天災風險的高低與該地區的天災危害度、環境脆弱性及人口與面積的暴露度等息息相關。歐洲在 2002 年到 2003

年，連續發生氣候異常災害，連鎖性（大洪水→大雪→熱浪）的複合式災害造成 2 萬多人死亡；日本的新瀉在 2004 年，夏：大雨 洪水→秋：中越地震（+坡面災害、河道阻塞）→冬：大雪，也造成連鎖性的複合式重大災害。2016 年 4 月日本熊本縣在數日內，同一區域連續發生兩次震度 7 級的地震，同年 6 月又降下破紀錄的豪大雨，造成嚴重的土砂災害。這種連鎖性複合式的天然災害，已漸漸變成常態，且愈趨頻繁激烈，讓許多已開發國家遭受空前的大災難與經濟損失，防災已成為一個國家最重要的社會議題。

日本具有先進的防災科技與完備的防災對策，但 2011 年 3.11 大地震（M9.0），仍然招致史無前例的大災難（圖 2）^[5-15]，地震過後 6 年，仍有 12 萬人過著避難生活。日本因不斷的遭受天災的威脅，再度喚醒了大眾的災害意識，尤其近期盛傳極可能發生的南海海槽巨大地震（M = 9.1），更讓社會激起了強烈的防災意識。大家已領悟到在巨災中要有存活的机会，就必需建構共生的社會，亦即大地震來襲時，災區通訊與交通全部中斷，地震發生初期無法與外界聯繫，無法獲得外界的任何訊息。因此，活命之道：首先要有自助的觀念，平時作好防災準備，備妥緊急避難用品，其次是鄰居間要互相幫助、互通有無，然後才期待社會或公部門的協助，亦即先要「自助」、再而「互助」、後求「公助」的防災觀念（圖 3）。日本政府也呼籲民眾，平時要準備 7 天份的避難維生物品（圖 4），這些避難維生物品，在日本商場皆普遍販售。

台灣的自然環境及工程建設型態與日本相近，也同樣的遭受地震、颱風與豪雨等天災的侵襲，故日本所歷經的災害經驗及防救災的先進科技，皆可作為我們的參考與借鏡。



資料來源：河北新報社-3.11大東亞災緊急出版特別報導寫真集(2011.04.08)

圖 2 2011 年東日本大震災（M9.0）海嘯災害

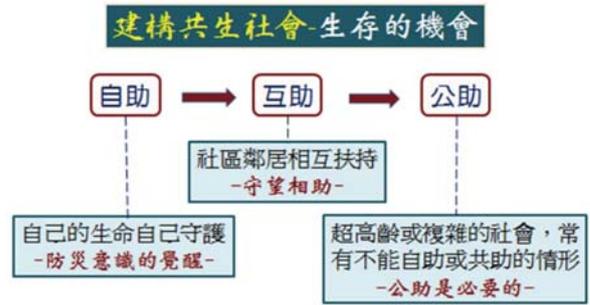


圖 3 激烈的天災環境 — 防災意識的覺醒



圖 4 自助的防災意識 — 避難維生物品 7 天份

台灣的天災環境與工程災害

台灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊邊界，橫跨呂宋島弧和琉球島弧，地震活動相當頻繁。從 1906 年 3 月梅山地震（M = 7.1）起，經 1935 年 4 月台中烈震（M = 7.1）、1999 年 9 月集集大地震（M = 7.3）、以迄去年 2016 年 2 月高雄美濃地震（M = 6.6）止，在百年之間發生了 10 次以上的災害性地震，平均不到 10 年就有 1 次社會矚目的大地震發生^[16]。

另因台灣位居颱風正衝，近 20 年來每年都有數個颱風的侵襲，幾乎每隔 1 ~ 2 年就有一次因颱風帶來豪大降雨，引發了洪水或土石流災害。其中，以 1986 年賀伯颱風、2001 年桃芝與納莉颱風、2009 年莫拉克颱風等，造成人員傷亡及交通嚴重災害而成為社會關心的焦點^[16]。

若依 IPCC 2014「氣候變遷災害風險影響要因分析」^[4]，台灣天災害風險如圖 5 所示。「危害度」：氣候變遷對台灣的影響高於全球平均值，約為 120% ~ 140%；「脆弱性」：台灣為高齡化社會、都市人口集中，台北城市風險指數排名全球第一；「暴露度」：台灣有 73.1% 的面積與人口，面臨颱風、洪水、地震及山崩的天災風險，比例居全球之冠。因此，台灣是處在全球天災害風險最高的環境中。



圖 5 台灣是全球災害風險最高國家

近年來台灣工程建設屢遭天災的破壞，其中地震災害以 1999 年集集大地震 (M = 7.3)^[17] 與去年 2016 年高雄美濃地震 (M = 6.6)^[18] 最受矚目 (圖 6 和圖 7)；颱風洪水害與土石流災害，則以 1986 年賀伯颱風^[19]、2001 年桃芝^[20] 與納莉颱風、2009 年莫拉克颱風 (八八水災)^[21] 最為嚴重 (圖 8 至圖 10)。在台灣，地震、洪水、土砂災害已成為工程建設的最大殺手，而且災害的樣態及嚴重的程度，也常常令人料想不到。

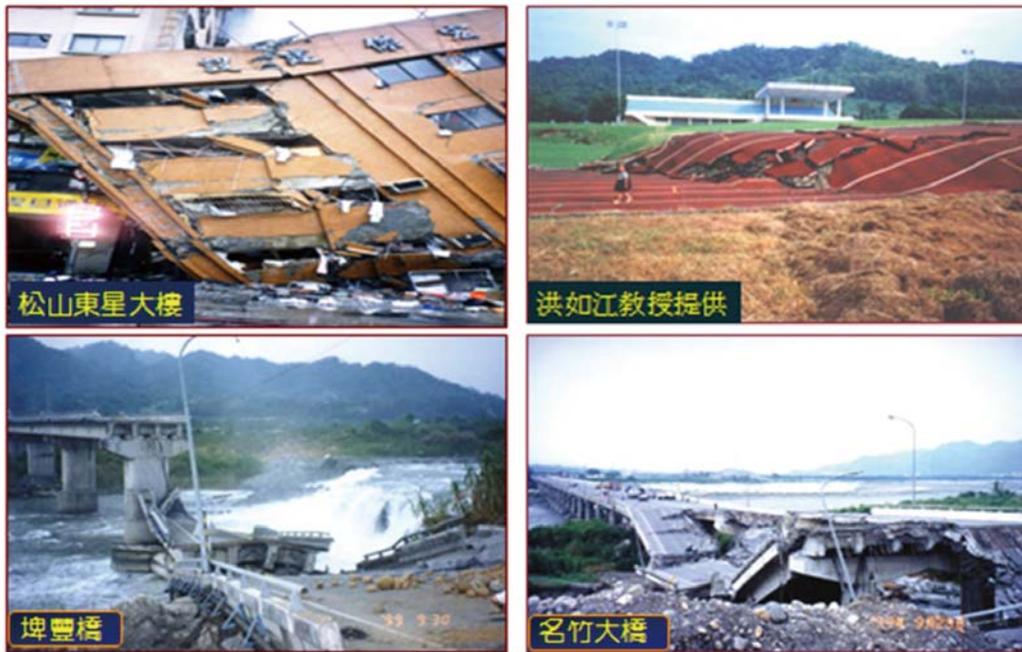


圖 6 1999 年集集地震 (M7.3)^[17]



圖 7 2016 年高雄美濃地震 (M6.6)^[18]



圖 8 1996 年賀伯颱風 — 橋梁水害及土石流災害^[19]



圖 9 2001 年桃芝颱風 — 橋梁土石流災害 (上)^[20]
2001 年納莉颱風 — 橋梁水害 (下)



圖 10 2009 年莫拉克颱風 (88 水災) 的工程災害^[21]

從巨災的教訓中學習

现行的耐震設計是以過去的震害經驗及調查研究為依據，但是即便以過去最大地震作為設計標準，亦無法否定未來超過之可能性。2011年東日本大地震發生後，工程師已深深體會到基礎建設應有承受災害之「強韌性」及災害時之「危機耐性」，其重點是必須降低「耐震設計中未考慮現象」之危險度^[22]。「耐震設計中未考慮之現象」，除超越考量之地震強度外，其他如大海嘯（2011年東日本大地震及2004年印尼蘇門達臘大地震）、地表斷層錯動（1999年土耳其伊茲米特地震、1999年台灣集集地震）、大規模邊坡滑動（2016年日本熊本地震）等，都是造成重大災害之主因。而這些災害現象，在目前之耐震設計上仍無法將其充分地納入考量。由於天災難料，所以唯有從災害的教訓中學習，如何更有效的防災，來減少災害的損失。

分析比較近二十年來大家熟知的災害性地震，如1994年美國北嶺地震、1995年日本阪神地震、1999年台灣集集地震與2011年東日本大地震等，可以發現橋梁地震災害的成因及主要破壞模式，各次地震皆不相同，引發的地震後續效應也有差別（圖11）。1994年美國北嶺地震：柱挫屈破壞崩塌，防落長度不足落橋，橋台鄰跨效應落橋，斜橋動力效應落橋。1995年日本阪神地震：市區高架橋崩塌或落橋，橋柱主筋截斷處的破壞崩塌，基礎無明顯損傷。1999年台灣集集地震：震害橋梁為斷層地裂帶經過之跨河橋，地層錯動崩塌或橋柱損毀，裸露的基礎受損。2011年東日本大地震：海嘯浮力及強大衝擊的損毀流失，柱挫屈或剪力破壞，HDR支承的破壞，曾作耐震補強橋梁無明顯損傷（圖12）^[23-27]。

依2011年東日本大地震專門調查會的報告，百年來日本三大地震之死亡原因，1923年關東大震災：87.1%為火災，1995年阪神淡路大震災：83.3%建物倒塌，2011年東日本大震災：92.4%為海嘯溺死，每次地震致災的成因皆不相同，每次地震的災難皆超乎意料之外（圖13）。



圖 11 橋梁地震災害的成因與破壞模式

依據2012年世界銀行的「從大規模災害中學習——東日本大震災的教訓」報告^[28]中指出：日本雖有2千多年抵抗天然災害的經驗，也有完備的應對體制與周延的防災對策，然而這次地震仍招致史無前例的大災難。這場超廣域的連鎖性複合式災害——地震、海嘯、核

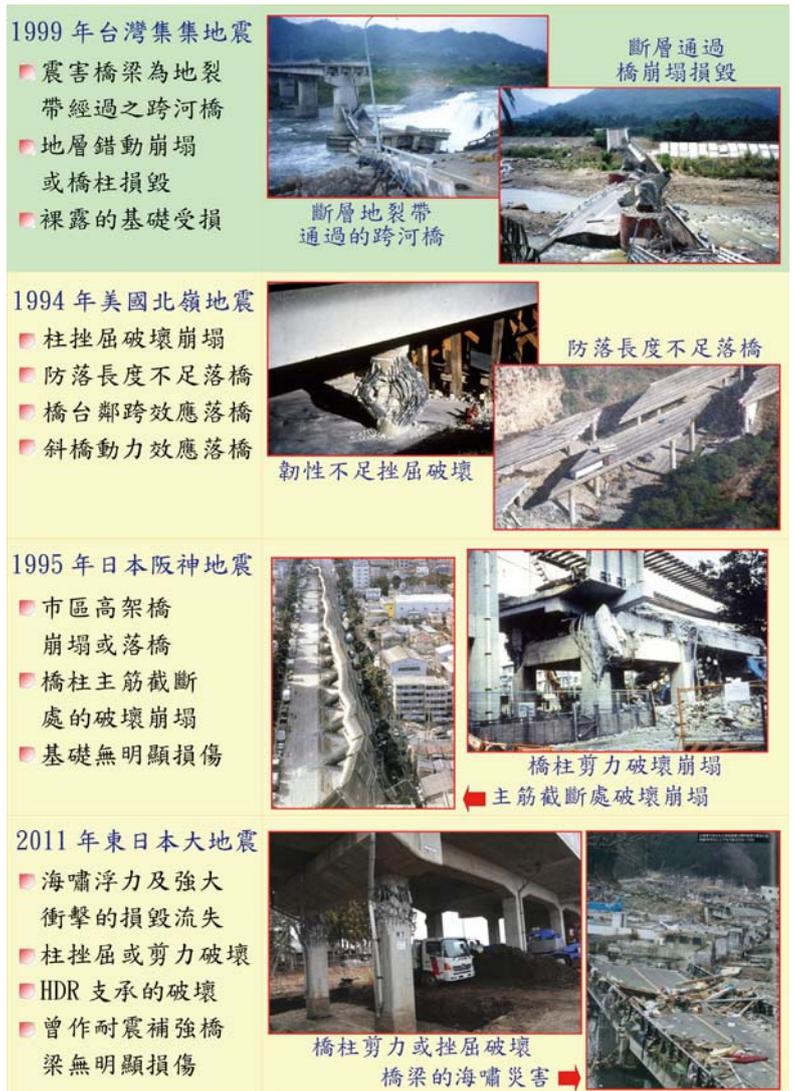
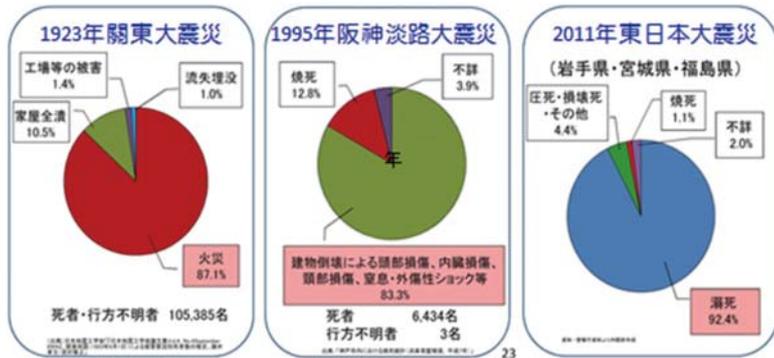


圖 12 橋梁地震災害的模式^[23-27]



資料來源：平成23年5月28日東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会（第一回）

圖 13 百年來日本三大地震之傷亡原因

災，造成 2 萬人死亡，海嘯侵襲海岸 650 km，500 km² 土地浸泡海水，核能事故導致居民被迫遷移，建物全壞 13 萬戶，半壞 26 萬戶，公路、鐵路交通中斷，港口、機場嚴重損壞等。其災害主因是地震規模超出預期甚多，海嘯高度超過警報，也超出所有的防禦設施及防災對策的極限。從這次大震災之中，許多防救災的方法或措施，災後復舊重建的思維與策略，以及防災新觀念導入耐震設計規範等方面，都有值得我們學習借鏡的地方^[29-32]。僅擇要概述如下：

1. 強化耐震設計與結構耐震補強，確能提升抗震能力：由本次大地震中橋梁損傷情形，可顯見耐震補強的有效性。例如在最大震度 7 級（PGA 達 2933gal）的栗原市附近的東北新幹線高架橋，因曾作耐震補強，並沒有明顯受損情形。橋梁直接因地震造成的災害，主要集中在東北新幹線未經耐震補強的高架橋梁^[33]。根據 1996 年以後之耐震基準進行設計或補修補強之橋梁，於本次大地震中並未產生致命性之地震災害。因此，確認了現行耐震規範對於橋梁耐震性之提升已具成效，以及耐震補強的有效性^[34,35]。基於此次震災之寶貴經驗，日本國土交通省積極推動全國幹線道路高規格之整備，以提高都市間移動之「速達性」^[36]，為將來不可預期的天災作準備。
2. 「耐震設計未考慮現象之考量」：超越設計考量地震、大海嘯、地表斷層錯動、大規模邊坡滑動等災害現象，在目前之耐震設計上仍無法將其充分地納入考量，但它往往是造成重大災害之主因。因此，東日本大地震發生後的隔年，2012 年日本道路橋示方書耐震設計編^[37]已列入「耐震設計未考慮現象之考量」之規定。在追求大地震時之災害最小化，必須提升結構物之耐震餘裕度及危機耐性，才能減少

「超乎預期地震」所引致之災害風險。藉由提高橋梁構造之強韌性，輔以適切之構造計畫，同時考量與地區防救災計畫相結合，方能發揮橋梁在大地震時之防救災功能。

3. 減小「地震伴隨現象」之災害風險，提升「危機耐性」：現行耐震規範對於影響鐵道構造物安全至鉅之「地震隨伴現象」，包括邊坡之滑落、海嘯、地表斷層錯動、餘震等，仍有考量不足之處。2012 年鐵道構造物耐震設計標準^[38]即

有考量「地震伴隨現象」之規定，並導入「危機耐性」之概念。同時強調耐震構造計畫之重要性，在橋梁規劃階段就應對於超越預期之地震力或地震伴隨現象（危機），進行評估災害發生後可能造成的影響，擬定儘速回復功能之對策，提升鐵道構造物之危機耐性。

4. 地震早期預警系統的減災措施：日本東北地方的外海為地震頻繁地帶，東北新幹線之地震早期預警系統，是在近震源之海岸線設置強震儀，當加速度達 120gal，即在沿線發佈警報，在 S 波到達前，管控列車速度。2011 年東日本大震災發生時，東北新幹線有 27 般列車在運行，因路線距離震央約 200 公里，有足夠的預警時間減速。因此震度雖大，但僅造成約 20 處的軌道變位與損傷，並無列車脫軌情形^[34,35]。
5. 資訊通信技術的運用：利用 ITS 站點與行車資訊等，即時掌握道路資訊，災害時提供駕駛可通行之路徑。此次地震海嘯發生時，很多居民藉此道路資訊增加了逃生機會，也提高了救災效率。
6. 活用既有道路之避難機能：東日本大震災時，三陸沿岸路堤道路成為逃避海嘯的場所，很多居民因而獲救。因此遍及各地的道路系統，須具備災害時之避難機能（如設置緊急避難通路與避難階梯等），提供災時之避難空間^[39]。
7. 勿忘天災教訓，重視防災文化傳承：當我們忘記自然力的威脅時，災害總在遺忘的時候來臨。日本極為重視防災文化的傳承，諸如歷史災害的警示標語、災難紀念館（碑）、防災教育公園、避難計畫擬定、防災地圖整備、及防災教育訓練等防災軟體建設，都是持續且積極的在實行。希望民眾勿忘天災的教訓，從巨災中學習，讓災難減到最低。

8. 防災教育演練的成效：重災區釜石市的優良傳統，是視孩童的生命為地方的寶物，非常重視防災教育演練並落實施行。此次地震時中，由於學校老師及家長同心協力引導學生避難成功，全市有小學生 1927 人、中學生 999 人，除請假 5 人外，全部免於海嘯災難，無人傷亡保命成功。釜石市學生海嘯避難成功案例，被譽為「釜石市的奇跡」。
9. 災害風險不會是零，石卷市避難失敗案例：根據宮城縣 2004 年海嘯浸水區域預測圖，海嘯最遠溯上 3 公里，石卷市大川小學距離河口約 5 公里，被指定為避難場所。此次地震後 50 分，學校受到溯上海嘯侵襲，校園避難的教職員與學童 121 人中，死亡 77 人，失蹤 7 人^[40]。巨災的教訓是：「有準備還是可能受災」。
10. 千年希望之丘，愛與希望的復興（圖 14）：岩沼市的災後重建，將受災的農地與建築物等震災遺骸保全，建為紀念公園，作為防災教育的據點，將災害教訓留傳於後代子孫。它整備了長約 10 km 園路，連結 15 座「山丘」作為防災公園，「山丘」具有衰減海嘯的能量及避難的功能，並命名為「千年希望之丘」。利用震災廢棄物建造的「希望之丘」，直徑約 120 m（約 1 個棒球場大小），實作高度為 10 ~ 15 m 比這次海嘯 7.2 m 高出許多，它的規模、形狀及植栽樹種，考慮了海嘯的衰減效果^[41]。
11. 奇蹟的一本松 — 鎮魂、希望、復興的象徵（圖 14）：岩手縣陸前高田市種植約 7 萬株松樹作為防波林，成為風景名勝的「高田松原」，在 311 地震海嘯中幾乎全被摧毀，僅存一棵松樹存活，它給了受災者堅強的勇氣與復興的希望，大家稱它為「奇蹟的一本松」。但一年多後，因樹根被海水嚴重浸蝕，而於 2012 年 5 月枯死。為了保存「奇蹟的一本松」作為希望、復興的象徵，經採伐、樹幹挖空作業、枝幹模型製作，於 2013 年 7 月現場保存作業完成。另該市市長為了這棵在絕望中、希望的奇跡 — 「奇蹟的一本松」，留給後人作為永久紀念，特地請萬寶龍日本分公司，將松樹木材製作成鋼筆 113 支，每支售價 48 萬 1 千日元，於災後四周年 2015.3.11. 限定發售，收入所得的 2 成支援該市復興之用^[42]。

東日本大震災為日本有史以來最大規模的地震，其所產生之廣域複合式災害是從前所未有。因此，在大災



圖 14 從巨災中學習 — 勿忘天災教訓

難中獲得的任何資訊或作為，不論在防災策略、搶救災行動及災情訊息之傳達分析，或者是結構物抗災能力提升、民眾防災教育與訓練等方面，均可作為我們重要且寶貴的經驗與借鏡。雖然天然災害一定會發生，但只要我們多作準備，受害程度與損失一定可以減免。

防災的新思維與防災的基本戰略

人類一再遭受天的肆虐，經歷了慘痛的教訓，累積了許多寶貴的經驗，也增長了抗災的智慧。對於天災源頭的颱風、豪雨、地震等之測報、預警，防救災的設施、設備，災害風險的評估與管理，以及防災科技的研發等各方面，都有長足的進步。但無可諱言的，迄今天災仍然不斷的發生，因為天災難料，災難常常超乎意料。因此，防災科技的先進國家，對於防災思維有新的發展，防災策略也有新的方向^[43]。

日本由於 311 大地震引發巨大海嘯，並導致核電廠嚴重的核輻射外洩災害，造成前所未有的超廣域複合式災害，除當時救災困難外，災後重建更面臨決策艱難、進程緩慢等複雜問題，此與 1995 年阪神地震後能迅速復建，有相當大之差別。因此，日本政府於 2013 年頒布了「國土強韌化基本法」，並於 2014 年 6 月通過了「國土強韌化基本計畫」，以保護人命、國家社會的重要機能可以繼續維持，人民財產及基礎建設災害最小化，災後能迅速復舊與復興等為計畫目標^[44]。

將來的防災思維也會從大家常說的「大震不倒、中震可修、小震不壞」，進一步的要求災後功能性的維持，並以強化城鄉災後復元力為目標。因此在防災策略方面，也從「保住人命、降低經濟損失」，進而追求基

礎建設正常使用、產業供應鏈得以確保、經濟建設持續發展，並以災後國家有快速且強盛的復原能力作為防災戰略的目標（圖 15）。

因此，一個防災城鎮要以「保護人命及經濟損失最小化」作為基本的防災思維，在防災的策略上，高頻率（如 100 年 1 次）災害：主要靠強韌的結構物防禦；低頻率（如 1000 年 1 次）災害：採取強韌的減災系統 + 非結構物的防災對策（如防災地圖、防災教育、防災演練等離災、避災的策略）。同時在土地利用與建築管理上要考慮災害風險，採行軟體與硬體雙層面的防災對策^[45]。基於前述的防災思維，要建構地震防災城鎮的基本戰略可彙整如圖 16 所示^[46]。

另依據 IPCC 2014 (AR5)^[4]，因應氣候變遷災害風險的基本戰略為：「適應」— 對氣候變遷儘速採取有效的調適措施，「減緩」— 持續減少溫室氣體排放，「提升抵禦力」— 無害環境的創新技術與基礎設施的投資，可增加恢復力（圖 17）等。然而要提升「災後復元力」，必須先設法將「災害最小化」，並從「基礎建設強韌化」及「減災技術高度化」著手，這也是因應氣候變遷減災的根本方法。

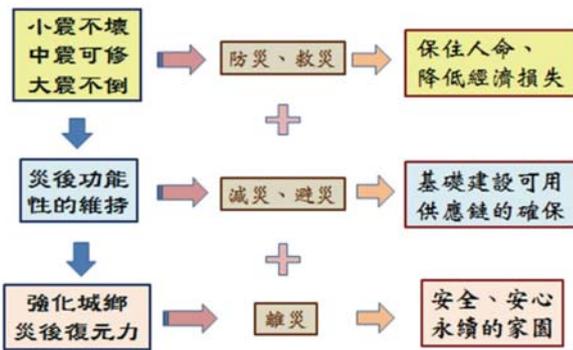


圖 15 防災思維的演進與防災戰略的趨勢



圖 16 建構地震防災城鎮的基本戰略

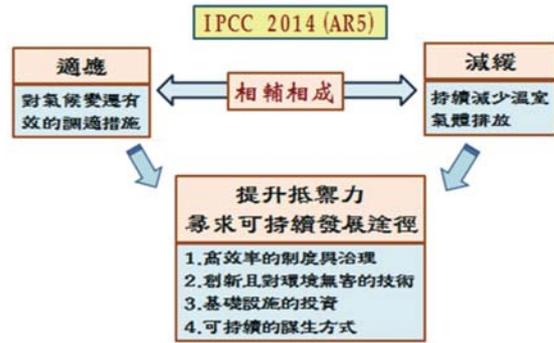


圖 17 因應氣候變遷災害風險的基本戰略

結語

台灣位處嚴苛的天災環境，近年來災害發生頻率與強度均有增加的趨勢，但防救災的環境條件卻愈來愈艱困。任何個人或群體都經不起一場大的災難，天然巨災的發生對於人民的身家安全及產業經濟發展，將造成極大的傷害與影響。我們未來面對的是連鎖性複合型天然災害，災害的樣態及嚴重的程度皆難預料，我們不能等到遭受天災教訓才有所醒悟，任何國家或任何地方發生的天然巨災，都必需當為借鏡，謙卑學習。要用宏觀的角度去深化防災的思維，並以統合性的考量去策劃防災的戰略，如此才能強化國家的災後復元力。災害總在遺忘的時候來臨，必須喚醒大眾的防災意識，先要自助、互助，而後才是公助，全民防災才能建構安全、安心、永續的家園。

誌謝

本文承 諸位專家學者或單位，多年來在現地勘災、資料蒐集等方面的鼎力協助，以及有關防災教育、防災研究及災害防治等方面指導討論，或提供寶貴的防災實務經驗，得以順利完成，在此謹致謝意。

日本東北大學 Ozaka 榮譽教授

日本東北大學 Suzuki 榮譽教授

日本土木學會 (JSCE) Hirose 會長

日本防災構造工學研究所所長 Kawakami 博士

石卷市 建設技術管理總監 大元守先生

NIPPON ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD

日本工營株式會社 技術本部

日本防災科學技術研究所 (NIED)

國家地震工程研究中心 (NCREE)：

張國鎮教授 (台大)、宋裕祺教授 (北科大)、黃震興教授 (台科大)

台灣世曦工程顧問股份有限公司 CECI：

王炤烈總經理、林曜滄總工程師、曾榮川協理、黃炳勳協理、蔣啟恆經理、張英發經理、蘇彥彰正工程師、王泓文正工程師、楊景華正工程師、林正偉正工程師等。

參考文獻

1. Disaster Risk Management Series No. 5, Natural Disaster Hotspots A Global Risk Analysis, The International Bank for Reconstruction and Development /The World Bank and Columbia University, 2005.
2. 2015 ~ 2025 Lloyd's City Risk Index.
3. IPCC, "Climate Change 2007 AR4 Synthesis Report".
4. IPCC, "Climate Change 2014 AR5 Synthesis Report".
5. 日本土木學會,「土木學會東日本大震災特別委員會總調查團調查速報會報告」, 2011.04.08。
6. 日本土木學會地震工學委員會,「土木學會東日本大震災被害調查團(地震工學委員會)緊急地震被害報告會報告」, 2011.04.11。
7. 日本東北大學,「東北大學による東日本大震災1ヶ月後緊急報告會報告」, 2011.04.13。
8. Kazuhiko Kawashima, "Damage of Bridges Resulted from March 11, 2011 East-Japan Earthquake", Department of Civil Engineering Tokyo Institute of Technology, April 15, 2011.
9. 日本土木學會,「土木學會東日本大震災被害調查團緊急地震被害調查報告書」, 2011.05.09。
10. 國土交通省國土技術政策總合研究所, 獨立行政法人 土木研究所,「2011年東北地方太平洋沖地震土木施設災害調查速報」, 2011.07。
11. 張荻薇、曾榮川、王泓文、蘇彥彰,「2011年東日本大震災勘災報告」, 中華技術, 第91期, 財團法人中華顧問工程司/台灣世曦工程顧問股份有限公司, 2011.07。
12. 張荻薇,「2011年東日本大震災 — 廣域性複合式災害」, 2011年結構與地震工程研討會, 中華民國結構工程學會, 2011.12.10。
13. 張荻薇、廖學瑞、丁金彪、何泰源、陳俊樺、蘇彥彰、周永川,「2011年東日本大震災震後六個月勘災報告」, 中華技術, 第93期, 財團法人中華顧問工程司/台灣世曦工程顧問股份有限公司, 2012.01。
14. 張荻薇、周功台、曾榮川、蘇玫心、蘇彥彰、張鈺輝,「2011年東日本大震災震後一年勘災報告」, 中華技術, 第95期, 財團法人中華顧問工程司/台灣世曦工程顧問股份有限公司, 2012.07。
15. 台灣世曦工程顧問股份有限公司,「2011年東日本大震災勘災報告」, 2012.09。
16. 張荻薇, 氣候變遷下台灣路、橋的天然災害及其因應對策, 99年國科會自然處永續學門防災科技研究計畫成果研討會, 2011.2.18。
17. 張荻薇,「921地震橋梁害概要」, 921集集地震結構勘災心得研討會, 中華民國結構工程學會, 民國88年11月。
18. 國家地震工程研究中心,「美濃地震初步勘災簡報資料」, 2016.02。
19. 張荻薇,「賀伯颱風橋梁災害之實例概述」, 賀伯颱風災害探討公共工程之規劃研討會論文集, 國立台灣大學土木系, 民國85年10月。
20. 張荻薇、曾榮川、李姿瑩、陳光輝,「桃芝颱風橋梁災害概況及成因分析」, 第六屆結構工程研討會, 民國91年8月。
21. 張荻薇,「從八八水災的工程災害談台灣橋梁的天然災害與災害防治」, 2009年結構與地震工程研討會, 2009.12.19。

22. 張荻薇、曾榮川、黃炳勳、蘇彥彰,「橋梁防災之新觀念 — 東日本311大地震之回顧與省思」, 中華技術, 第111期, 財團法人中華顧問工程司/台灣世曦工程顧問股份有限公司, 2016.07.31。
23. 張荻薇、方文志、陳國隆,「1994年1月17日美國洛杉磯北嶺地震訪查報告書 — 橋梁震害探討」, 國家地震工程研究中心, NCREE-94-001, 1994.03。
24. 張荻薇,「日本阪神震災後橋梁之復舊及耐震補強」, 由阪神地震探討國內橋梁耐震工程之發展方向研討會, 台灣營建研究院, 1996.09。
25. 張荻薇、張國鎮、宋裕祺、蔡孟豪,「集集地震橋梁損害模式之分析探討」, 結構工程第十四卷第三期, 民國88年9月。
26. 張荻薇,「國外交通設施震後重建與強化對策」, 921大地震震後之交通設施強化與重建研討會, 交通部, 1999.10。
27. Kazuhiko Kawashima, "Damage of Bridges Due to the 2011 Great East Japan Earthquake", Proc. of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake, March 1-4, 2012, Tokyo, Japan, pp. 82-101.
28. 世界銀行,「大規模災害から学ぶ」東日本大震災からの教訓, 2012。
29. 東日本大震災復興對策本部,「東日本大震災復興構想會議」, 2011.06.25。
30. 張荻薇,「工程災害及復原」, 東日本大震災重建勘察發表會, 國家地震工程研究中心, 2012.7.26。
31. 張荻薇、王炤烈、黃炳勳、曾榮川、蘇彥彰,「311東日本大震災震後重建考察報告」, 台灣世曦工程顧問股份有限公司, 2014.11。
32. 張荻薇,「東日本大震災之震後重建及復興計畫」, 東日本大震災震後重建考察說明會, 國家地震工程研究中心, 2015.01.23。
33. 日本土木學會,「東日本大震災被害調查團緊急地震被害調查團 — 高架橋の被害」, 2011.04.11。
34. 室野剛隆,「日本の新幹線鉄道の地震對策」, (公財) 鐵道總合技術研究所。
35. 富田哲郎,「東日本大震災への對應と今後の課題」, JR 東日本, 2011.7.6。
36. 國土交通省,「國土交通省における東日本大震災の復旧・復興に向けた對應」, 2011年6月。
37. 日本道路協會,「道路橋示方書 — 耐震設計編」, 2012年。
38. 日本鐵道總合技術研究所,「鐵道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」, 2012年。
39. 大元 守,「大規模災害での道路の役割 課題」, 第30回台日工程技術研討會, 2013.11.27。
40. 大川小學校事故檢証委員會,「大川小學校事故檢証報告書」, 2011年6月。
41. 岩沼市,「岩沼市東日本大震災津波復興計畫」, 2011年08月。
42. 陸前高田市,「奇跡の一本松保存プロジェクト」, 2012年。
43. 張荻薇,「土木、結構、以橋梁為專業, 天災、地震、視防災為志業」第十三屆結構工程研討會暨第三屆地震工程研討會 2016.08.11。
44. 日本總理府,「國土強靱化基本計畫」, 2014.06.03。
45. 日本中央防災會議,「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波對策に關する專門調查會」審議會, 2011.5.28 ~ 2011.9.28。
46. 張荻薇,「天災難料 唯有從巨災中學習 — 防災思維與防災戰略」, 日本熊本地震勘災考察說明會, 國家地震工程研究中心, 2017.03.02。

