



# 土木工程與災害防治

洪如江／國立臺灣大學土木工程學系 名譽教授、中國土木水利工程學會 會士

## 危險 (Hazards) 與災害 (Disasters)

可能引發災害 (Disasters)，例如人命傷亡、財產損失、環境破壞、等等現象，稱為危險 (Hazards，也曾漢譯為災變)。自然危險 (Natural Hazards)，主要有生物性自然危險、物理性自然危險。人類，雖然也是生物的一類，但在本文，直接以人為災害 (或人禍) 加以討論。

瘟疫、黑死病、霍亂、流行性感冒、愛茲病，等等細菌或病毒，稱為生物性自然危險。

氣候變遷、豪雨、下雪、颱風、龍捲風、乾旱、洪水、地震、坍方、土石流、暴潮、海嘯、火山爆發、隕石、等等自然現象，稱為物理性自然危險。

戰爭，國土過度開發及超限利用，城市黑洞效應，稱為人為災害 (或人禍)。

危險未必產生災害。只要人類不與危險交會或接觸，通常不發生直接災害。但有些人，因無知或明知故犯，進入危險之地 (例如山崩活躍地區、洪水或土石流必經之地、經常發生雪崩之地、等等)，就可能發生災害。日常生活之中，不論室外或室內，存在許多顯性及隱性危險，例如設計不良的十字路口、空氣污染、電線老舊 (引發俗稱的電線走火)，如果知識不夠或疏忽，常發生意外災害。

## 生物性自然危險與災害

生物性自然危險的細菌或病毒，曾經在中、外、古、今，發生嚴重災害。

現代自來水工程系統出現之前，水媒疾病，尤其是霍亂 (cholera)，1816 ~ 1860 年間，多次分別在孟加拉、印度、中國、俄羅斯、英國、法國、北美洲、裏海地區、等地發生流行或大流行之災，總共死亡一百多萬人。詳細資料可參閱 Wikipedia, the encyclopedia 網頁。

## 物理性自然危險與災害

### 洪水災害

基督教聖經舊約及美索不達米亞泥板書 (現存大英博物館，複製品照片見洪如江，民國 106 年 8 月，美索不達米亞古文明的生死關鍵)，皆記載大洪水巨災。

約 4300 年前，華北廣大黃河三角洲的沖積平原，洪水為患。孟子籛文公上「當堯之時，天下猶未平，洪水橫流，泛濫於天下。… 禹疏九河…」。

印度河古文明 (約 2600BC 誕生於今之巴基斯坦)，約 1800BC 梅雨轉向今之印度，沙漠化使原有水域、綠地、城市消失。遺留少數石刻文字，但尚無法解讀。

民國 85 年 7 月 31 日至 8 月 1 日台灣的賀伯颱風豪雨，重創陳有蘭溪流域，73 人遇難，財產損失數百億元；天災固然是原因的一部分，但新中橫公路水里玉山線強行在極為脆弱而不穩定的陳有蘭溪大斷層中開挖，施工中就常發生邊挖邊坍的事件；通車後，由於公權力不彰，平地人湧入陳有蘭溪兩岸山坡地遂行濫墾、濫伐、濫建、濫開產業道路（農路及通行道路），進一步破壞山坡地。

民國 90 年 7 月 29 日至 7 月 30 日台灣的桃芝颱風豪雨，陳有蘭溪的「筆石社區」被土石流沖失；天災只是部分原因；更重要原因是筆石溪口的筆石橋建得太低、太窄、且在河道中樹立橋墩，妨礙土石流的順利通過。

民國 90 年 9 月 13 日夜間至 9 月 17 日的納莉颱風豪雨入侵台北，引發陽明山區的土石流災害，水淹台北捷運系統，引起國人恐慌及國際重視。

民國 98 年 8 月 6 日至 8 月 10 日的莫拉克颱風豪雨災害，因最嚴重災害發生於 8 月 8 日，故通稱八八水災。降雨中心在阿里山區（降雨強度 3,059.5 mm），屏東縣三地門鄉降雨強度 2,910 mm。曾文溪及高屏溪，不但洪水暴漲，多處溪谷坡地發生重大坍方，小林村被沖失，河床被巨石及泥沙大幅淤高。

## 地震災害

1556 年（明朝嘉靖 35 年），中國陝西地震，83 萬人遇難。歷史學家將 1550 年代之後劃為「近代」，其前為「中古」。

1737 年印度加爾各達地震，30 萬人遇難。

1920 年中國甘肅地震，18 萬人遇難。

1976 年 7 月 28 日中國唐山地震，35 萬人遇難。同年 9 月 9 日毛澤東逝世。同年 10 月四人幫被捕。

1999 年 9 月 21 日台灣地震（地震規模 7.6），主要是由車籠埔斷層（長約 100 公里）的逆衝錯動所引發，震央位於南投縣集集鎮；故稱「集集大地震」，後因集集鎮民抗議，在國內多稱「921 大地震」。遇難者 2478 人（包括失蹤者）。倒塌房屋類別最多者為中小學校舍，主要係因工程外行人爭做工程，粗製濫造所致。多棟高度為 49.5 公尺高樓被震毀，主要係因逃避「建築結構外審」（樓房高度超過 50 公尺者，必須接受獨立的結構工程機構審查）。中部台三線公路沿路橋樑全部被震垮，顯然是與當初台三線公路選線與車籠埔斷層重疊有關。

2001 年 1 月 26 日（03:16GMT）印度西邊臨阿拉伯海之 Gujarat 省發生強烈地震，規模 7.7。20,000 多人遇難，其中，距離震央 20 公里處之 Bhuj 地區（推估震度達 0.55g），18,416 人遇難，距離震央 320 公里處之 Ahmadabad（推估震度達 0.11g），有 750 人遇難。Gujarat 省房屋全倒者 37 萬戶，半倒者 92 萬戶。直接財產損失約 30 億美元。

2004 年 12 月 26 日（07:58:53，當地時間）南亞印尼蘇門答臘西方海域（3.267°N，95.821°E）發生百年內第四大強烈地震及海嘯；至 2005 年 1 月 8 日已知有 15 萬 6 千多人遇難；無家可歸者高達數百萬人。主要災難係因地震所引發的海嘯，其在海域之時速可達 800 公里，在陸地之時速可達 250 公里，浪高 10 公尺以上。進一步資料，參考：

- 邱建國（民國 94 年 2 月）
- 美國地質調查所（<http://www.usgs.gov>）
- 日本氣象廳（<http://www.jma.go.jp>）

南亞地震海嘯事件中，受災各國，久未有大海嘯之經驗，缺乏防災整備、測報與預警之能力，難怪反應不及。海嘯之英文 Tsunami，原為日語之音譯，係因日本發生海嘯的次數最多，經驗也最豐富，其防災整備、測報、預警、與反應，已建立相當成熟的制度與標準作業程序。但在 1993 年北海道西南方地震海嘯事件中，奧尻島西岸與東南岸的第二次海嘯波高達 15 公尺以上（藻內波高達 30.6 公尺），遠較氣象廳的大海嘯警報所預估者高；可見人類對海嘯尚未充分了解。

## 人為災害（或人禍）

### 戰爭災害

戰爭，指國與國（或民族與民族）之間的武力衝突，並造成大量人命傷亡者。

古代近東的基督教聖經舊約，中國史書，都曾經記載因戰爭而屠城的災難。

在中國幾千年的歷史之中，多次與邊疆國家（戎、狄、蠻、夷）發生戰爭，發生大量人命傷亡及領土變遷。

西方國家或民族，例如希臘、羅馬、鄂圖曼土耳其帝國（Ottoman Empire, 1299 ~ 1922）、以及大國崛起之後的殖民主義帝國，都曾經發生內戰或對外侵略

戰爭，多次進行屠城及種族滅絕（例如馬雅、阿茲特克、印加）暴行。

第一次世界大戰及第二次世界大戰，都有幾千萬人的死亡。希特勒且令黨軍（黨衛隊，蓋世太保，GESTAPO）屠殺 600 萬猶太人。

### 國土過度開發及超限利用之災

胡勝正（民國 94 年）**悲歌美麗島**（行政院經濟建設委員會發行，（齊柏林攝影，陳慧屏撰文）一書的序中第一段文字：

台灣經濟快速發展的背後，由於長期對自然資源保護的不足及配合經濟發展需要而造成過度開發，國土資源遭受到難以復原的傷害。

進一步了解，參考：

- 洪如江（民國 106 年 12 月），「土木工程與自然」
- 洪如江（民國 108 年 2 月），「土木工程與環境」
- National Geographic（2016），看見齊柏林
- 齊柏林（民國 102 年）我的心 我的眼 看見台灣
- 鳥目台灣，2013，台灣阿布出品。

以上文、書、及影片，證明在經濟發展的旗號之下，**過度開發**（超限利用、濫墾、濫伐、濫建、濫開道路上山，超抽地下水、排放污水、等等）引發山崩、土石流、地盤下陷、污染、等等災害，台灣自然國土被摧殘到體無完膚。

### 城市黑洞效應之災

世界人口的 50% 以上，台灣人口的 80% 以上，已經居住在城鎮之中。**人才、財富、物資、基礎建設、車輛、等等**，也向城市集中，形同黑洞效應。

城市，數量及規模無限膨脹，消耗全球能源的 75%，排放全球溫室氣體的 80%（Chan, 2016）。**混凝土叢林**（摩天大樓）替代自然叢林，縮小公共綠地，破壞森林綠色植物的種種功能，導致嚴重的氣候變遷（Climate Change）。而氣候變遷將引發多種災害（Disasters，例如空氣污染、全球暖化、冰域縮小，雨林消滅、森林大火、熱島效應、廢棄物暴增、擠車、等等災因及災害）的威脅、傷害。

台灣，農村青壯年村民多往六都工作，老人與小孩留守日漸衰落的農村。

全台灣空屋多達 80 多萬宅，年青人因為買不起房屋而不敢結婚生子，而有少子化的**社會危機與國安危機**。

交叉比對 Mayor of London, 2012, World Cities Culture Report 的城市公共綠地百分比（%）與 Lelieveld, et al.（2015）發表在 Nature525 期的城市中因空氣污染而死亡人數，列表如下：

城市	公共綠地百分比（%）	因空氣污染而死亡人數
上海	2.6%	14,900 人
孟買	2.5%	10,200 人
東京	3.4%	6,000 人
巴黎	9.4%	3,100 人
紐約	14%	3,200 人
倫敦	38.4%	2,800 人

台北市 2017 的公共綠地，根據 Mayor of London（2019）World Cities Culture Forum，為 3.4%。

Ting-Chun Lai, et al. 2017（台灣大學公衛學院團隊研究論文）顯示：台灣在 2014 年因 PM2.5 而死亡者達 6281 人；其中，新北市 874 人，高雄市 829 人，台北市 619 人。

台灣北部空氣污染來源主要是交通運輸車輛，中南部空氣污染來源主要是工廠（包括石油化學工廠、燃煤火力發電廠、水泥廠），中部空氣污染部分來自境外。

不論是從全球或台灣來看，空氣污染對人命的傷害，遠遠超過自然危險所引發的災害。而空氣污染由人類造成的事實，也經由中國北京的實驗（工廠停工，汽車禁止進城，就見藍天）加以證明。

### 土木工程在細菌或病毒災害的防治之道

在地廣人稀的古代，人類不難取得潔淨之水，滿足飲用、清潔、製作食品、農耕、畜牧、等等需要；即使水域稍有污染，天然河水，泉水，與地下水，也多有「自淨」的能力，不至於發生問題。但當人口大量增加之後，尤其當大量人口向城市集中之後，城市附近水源的污染，遠超過自然水體的自淨能力，不得不從遠地的潔淨水源取水。以人力挑水或獸力運水，不但成本太高，而且杯水車薪，難以滿足需求，於是有賴土木工程方法，構建自來水系統，解決問題。

早在 6,000 年前的埃及，就已經在尼羅河築壩引水，構建一種「維生系統」(life-preserving system)，支持家庭及公共用水的供應。波斯灣文明古國，在 4000 多年前，也構築渠道引水供應城鎮之用。印度古文明，在西元前 1800 年，就已經在河道磊石為壩而引水供城市之用 (Pannell, 1964)。早在幾千年前的羅馬帝國，其輸水工程，在平地用明渠，逢山開隧道，過河建輸水高架橋，由水源地至一個城市的輸水工程總長度有達數十公里者；留到目前最著名的高架水道橋有法國南部的嘉德水道橋 (Pont du Gard, 19BC~) (參見洪如江，民國 107 年 4 月，「土木工程與文化 (二) 土木工程之美」的圖 14 和圖 15) 與西班牙中部的西歌維雅水道橋 (Segovia aqueduct, 2nd C.AD~)。

1829，英國雀兒喜 (Chelsea) 自來水廠工程師 James Simpson 發明「慢濾法」，原水經水廠「慢濾池」細沙層的過濾之後，所有的污染物質及水媒細菌皆已被攔阻於細沙層之中。John Snow 醫生，根據他對 1830 年代與 1840 年代倫敦蘇荷 (Soho) 地區霍亂的研究，證明霍亂與水污染的關係 (Pannell, 1964)。此後，凡建立現代化自來水工程系統的地區，水媒性的傳染病 (尤其是霍亂) 就告絕跡，先進國家，自來水多可以生飲。可見自來水工程系統對人類文明的貢獻。

大台北地區的水源在翡翠水庫，其 140 公尺高的混凝土拱壩為其關鍵；大高雄地區的主要水源在南化水庫，其 87.5 公尺高的土石壩為其關鍵；兩者都是台灣土木工程師的傑作。

台灣的自來水，在自來水廠的清水池內，皆可以生飲；但輸水管及市區配水管網問題 (例如破裂、接頭鬆動)，用戶多在一樓裝設水池 (目前多改用不銹鋼大水桶)，再將自來水抽送屋頂水塔，然後通至用戶內水龍頭。自來水存在一樓水池與屋頂水塔中，可能受到污染，需煮沸才能飲用。這種落伍的系統，增加成本，而且，幾乎所有公寓屋頂皆有水箱或不銹鋼水桶，形成台灣獨有的醜陋奇觀。

絕大部分的細菌或病毒，在強烈陽光照射之下，不到 10 秒鐘就會死亡。生活環境，在充分陽光與通風的情況下，不易得病。古代中國中原的住宅群，多布建「天井與迴廊」，就是為陽光與通風。在雨天，水滴降落在天井下水池所引起的節奏，極有情調。華人購買房屋，偏好面向南方，為的是陽光。

台灣大學第一學生活動中心 (圖 1)，中央大學綜教館 (圖 2)，都有天井與迴廊；雖然是採用現代科技所建造的工程結構，卻是中式建築。行政院退除役官兵輔導委員會的岡山榮民之家 (圖 3)，外迴廊對外開放，面對開闊的綠地，得到陽光、通風、與綠色植物 (排放新鮮氧氣，吸收二氧化碳) 的健康環境，降低細菌或病毒感染機會。以前西方人在東方建領事館，也多設有迴廊 (圖 4 和圖 5)。



圖 1 台灣大學第一學生活動中心二樓迴廊環繞天井，有利於陽光照射及通風 (洪如江攝)



圖 2 中央大學綜教館各樓層環繞迴廊，有利於陽光照射及通風 (洪如江攝)



圖3 岡山榮民之家，外迴廊對外開放，得到陽光、通風與綠色植物（排放新鮮氧氣，吸收二氧化碳），降低細菌或病毒感染機會（洪如江攝）

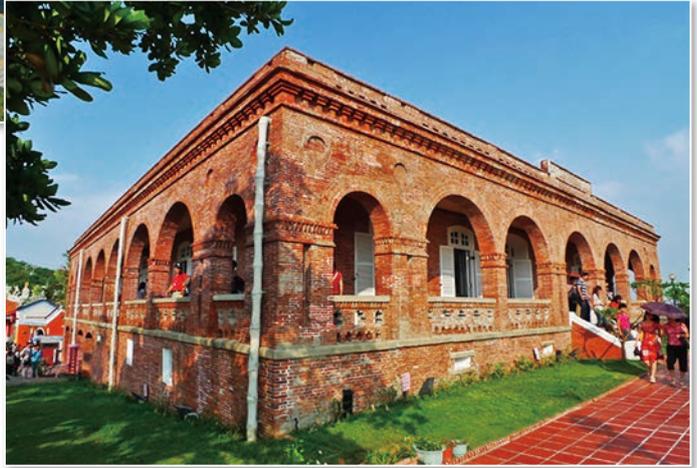
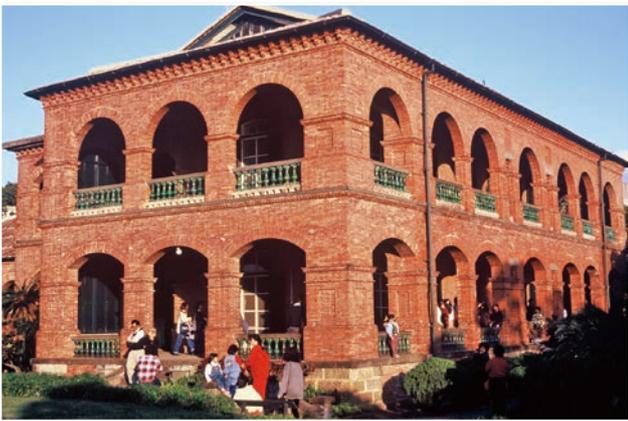


圖4 打狗英國領事館外迴廊，有利於陽光照射及通風

圖5 淡水紅毛城領事館外迴廊，有利於陽光照射及通風（洪如江攝）

## 築城防衛

原始人類，面對烈日、下雨、野獸或野蠻人的攻擊，必須築城防衛。最簡單的棚屋（圖6和圖7）或洞穴（圖8），就是最原始的城。埃及游牧民族貝多因人的小聚落棚屋群，以石塊堆砌很矮的圍牆（圖9），就能夠阻擋大多數野生動物入侵。蒙古人，到現在，還有不少人建造蒙古包為屋（圖10）。

客家人在福建南部與廣東北部建圍樓（土樓）（圖11），其牆壁，皆有對外射擊彈孔，可以對來犯的有組織土匪射箭或開槍。圍樓群的布置，便利互相支援。每一圍樓的內部（圖12），都有水井，並養雞、鴨、豬。



圖6 獸皮及樹支所建的棚屋模型（洪如江攝於墨西哥人類學博物館）



← 圖 7 樹枝所建的棚屋模型 (洪如江攝於墨西哥人類學博物館)

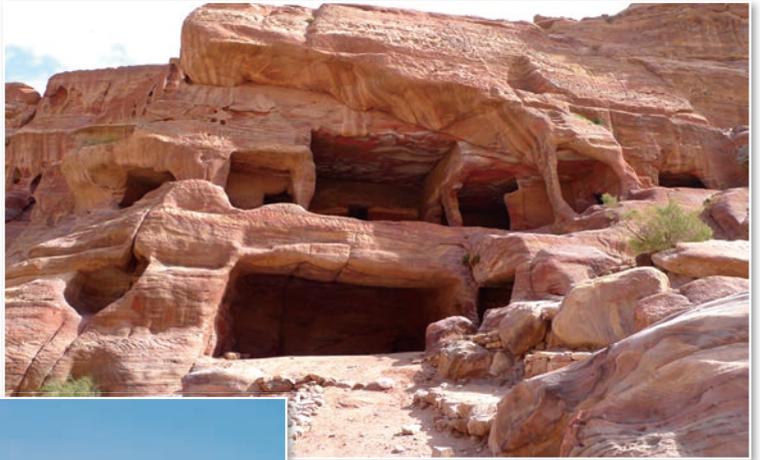


圖 8 人類始祖在山壁挖洞穴為屋 (洪如江攝於約旦玫瑰城, Petra)



圖 9 貝多因人在埃及沙漠中的聚落，以石塊堆砌矮圍牆阻擋動物入侵 (洪如江攝)

圖 10 沙漠邊緣的蒙古包，外蒙古 (洪如江攝)

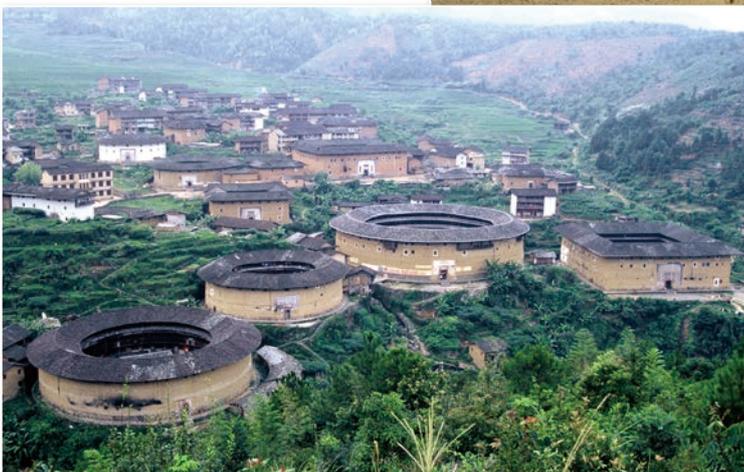


圖 11 閩南客家圍樓 (土樓) 群全景 (王鑫教授攝)

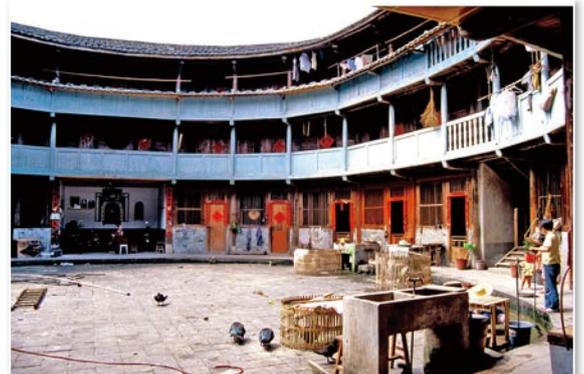


圖 12 閩南客家圍樓 (土樓) 內景 (王鑫教授攝)

城市出現之後，雖然有警察保護，但是小偷或闖空門的匪徒還是時有所聞。因此，即使是台北市，大部分的住宅房屋，還是建有圍牆及鐵窗（圖 13）以維護住家安全。



圖 13 台灣城市住宅區的鐵窗文化：住宅監獄化（洪如江攝）

房屋建築的安全，首要在了解建地的地質（通常須鑽探、取樣、試驗、研判）、從事基礎及上部結構的設計，並由學養及經驗豐富的學者專家審查（結構外審）。然後由合格的營造廠施工，並由工程技師監造、驗收。

面對戰爭，築城防衛有**戰鬥之城**、**戰術之城**、與**戰略之城**等三個等級。

鐵絲網、沙包堆、散兵坑、壕溝、小碉堡，等等，都可以是步兵野戰時的「**戰鬥之城**」。

城牆（圖 14 北京紫禁城牆）、護城河（圖 15 北京紫禁城護城河）、碉堡（citadel，例如圖 16 羅馬軍建於英格蘭北邊），為**戰術之城**。

中國的萬里長城是最著名的**戰略之城**，有幾千年之久，保護中國北疆免受蒙古入侵。但萬里長城沒能擋住元兵滅宋，也沒能擋住清兵滅明。



圖 14 中國元明清三代的皇居：北京紫禁城城牆（洪如江攝）



圖 15 北京紫禁城護城河（洪如江攝）



圖 16 羅馬人在英國所建的碉堡（洪如江攝）

## 防洪工程 (Flood Control Engineering)

### 引言

在地廣人稀的時代，河川的洪水氾濫、山地的坍方及土石流，本為自然現象；各大流域（兩河流域、尼羅河、印度河、黃河）的三角洲，接受洪水氾濫所帶來的肥沃泥土沉積及土石流的堆積，孕育了世界上的四大古文明。

人口大量增加之後，難以接受洪水氾濫，因此需要防洪工程，諸如：

1. 山地（包括丘陵地），以茂盛森林涵蓄水分，成為天然水庫。
2. 山溪出口之地，關滯洪池，蓄水兼攔截流木、泥沙。
3. 河川中游，建水庫，蓄大量（數億立方公尺至數百億立方公尺）之水。
4. 河川下游，可效法大禹的「疏洪」。參見孟子卷五滕文公上：「禹疏九河...而注諸海」將華北洪水排放各海域。
5. 堤防（包括防洪牆）、水庫、分洪（疏洪）道（渠道或隧道）、河道整理、山溪出口的滯洪池、集水區的經營管理、等等。
6. 城鎮之中則需多留透水鋪面，讓地表漫流水滲入地下。

### 水庫工程防災

水庫，具灌溉、發電、防洪、公共給水、觀光、等等功能。

長江三峽水庫，以其 390 億立方公尺的庫容，在水庫上游發生豪雨而經由「洪水演算」得知有大洪水逼近之前，先將庫水排放 200 億立方公尺，讓水庫發揮蓄水功能，可以防衛百年一遇的洪水。但超過百年一遇的洪水，只能炸掉部分堤防，讓人口密度比較小或比較不重要的地區（例如湖南農業區）淹水，保護湖北重工業中心。長江三峽水庫，在防洪功能之外，還有水力發電（減少燃燒化石能源）、航運、灌溉、觀光、養殖、等等功能。

在主河道建設大型水庫，若無有效的排沙道而淤積大量泥沙，水庫下游河道泥沙供應不足，河床及堤防基礎被來自水庫或豪雨之強烈河水沖刷，會發生橋樑基礎（橋墩）及堤防基礎的破壞之災。甚至於發生海水入侵、海岸線後退、或海水倒灌的災害。

離漕水庫（例如烏山頭水庫，圖 17）、地下水庫（例如澎湖地下水庫）、地下存水空間（例如日本東京防災地下存水空間），可避免主河道水庫淤積泥沙之災。

山區森林涵蓄水份，就是最好的天然水庫。



圖 17 烏山頭水庫水域局部及土壩（洪如江攝）

### 天然水庫防洪

每一棵大樹能夠在豪雨之時涵蓄約 1.5 噸的水，在乾旱之時緩緩釋放出來。因為，森林就是最大的水庫，一種「天然水庫」。

但森林不可能在短期內製造出來，因此，山區原始森林的保護極為重要。在台灣，所謂保護，最好的辦法就是避免人力的介入。自然演化或從裸露坡地復育出來的森林，最有機會演化出複層植生的雜木林。所謂複層植生，係指喬木、灌木、草、落葉、與腐質土，皆已充分發育成熟的植生體系，其水土保持的能力最為堅強。所謂雜木林，是由物競天擇的競爭而勝出的最佳林木社會。

在台灣，所謂造林，由政府機關造林，多以經濟造林為考量，常造出單一樹種的針葉樹林，難以發展出理想的複層植生，也不健康。至於契約造林，由民間林農造林，常見砍大樹種小樹，甚至於種淺根性經濟作物，或竟然種果樹、茶樹、或蔬菜。

台灣如果需要經濟造林，應該利用廢耕的邊際土地。其中，台糖公司就有許多古蔗園土地。民間廢耕的土地也不少。台灣的山地，絕大部分沒有經濟造林的條件。

### 分洪（疏洪）工程防災

#### 集中分洪之例

5 千年前大禹治水（可能是在華北），以疏洪為主。現代台灣的員山仔分洪道與二重疏洪道也是疏洪之例。

今基隆河誕生之前，其洪水經由南端源頭向北流入海域。後因其下游平地隆起為丘陵地，洪水轉向西冲刷出由東向西的河道，誕生今天所見的基隆河主河道。

今基隆河多次大洪水氾濫成災，皆因暴雨中心在今基隆河上游南端的山區。

員山仔分洪（疏洪）道工程完工之後，來自基隆河上游南端源頭山區暴雨中心的洪水，直接向北經員山仔分洪（疏洪）道流入海域（圖 18 和圖 19）。上游的洪水不必先流經台北盆地再進入淡水河出海。

員山仔分洪（疏洪）道工程功效很好，基隆河堤防及防洪牆不必加高，讓沿岸居民有比較大的機會去接近自然水域。

二重疏洪道（明渠）：由台北盆地上游開始，開挖一條大渠道，將淡水河部分洪水分流至台北盆地下游。

### 洪氾區分洪

在大洪水侵襲之時，允許部分土地（稱洪氾區）淹水。但不少洪氾區，先被默許建違章建築，再就地合法，然後要求保護（例如建堤）。

中央研究院，寧願在大洪水侵襲之時局部淹水，也不願意建設高堤防；但已經做好因應措施：地下室及一樓不放置電機設施及文書。



圖 18 員山仔分洪道在基隆河上游的入口（孫荔珍攝）



圖 19 員山仔分洪道出海口（孫荔珍攝）

### 防潮閘工程防災

許多河川，當集水區持續豪雨而有山洪暴發之時，常巧遇漲潮與海水倒灌河川下游段。而河川下游段兩岸多為人口密集的城市所在之地。

流經倫敦的泰晤士河，曾經發生暴潮而致倫敦淹水；經構建防潮閘（圖 20 和圖 21）加以保護，未再發生淹水之災。

荷蘭鹿特丹，曾經因暴潮而淹水，建防潮閘（圖 22 和圖 23）之後，不再淹水。



圖 20 英國泰晤士河防潮閘 (Thames Barrier) 全景 (洪如江攝)



圖 21 船隻通過泰晤士河防潮閘局部近景 (Thames Barrier) (洪如江攝)



圖 22 荷蘭鹿特丹防潮閘 (洪如江攝)



圖 23 荷蘭鹿特丹防潮閘 (洪如江攝)

## 堤防工程防災

黃河，自孟津以西的廣大平原，在建造堤防之前，原可容納來自黃土高原的大量泥沙；但自築堤之後，大量泥沙淤積河道之中，河道竟高於兩岸陸地，堤防必須一再加高加大。古中華文明（尤其指夏、商二朝）發源於黃河大三角洲，但黃河的洪水災害幾乎每年都有。自漢朝初年至 1938 年（民國 27 年）的兩千年間，黃河決口多達 1,500 多次，較大改道 26 次。1887 年（清光緒 13 年），黃河決口，200 多萬人遇難。

商亡（1111BC）之後，長久而強盛的朝代，國都多不選在黃河三角洲之中，例如：

- 西周（1111BC ~ 770BC）都於鎬（今之陝西東南角）；歷時約 340 年。
- 漢朝（202BC ~ 8AD）都於長安（西安），歷時約 200 年。
- 唐朝都於長安（618 ~ 907），歷時約 290 年。
- 元、明、清三代（西元 1279 至 1911）都於北京，歷時約 600 年。
- 南宋（1126 ~ 1279）都於臨安（今之杭州），歷時約 150 年，依靠江南的農業、沿廣州、北江、贛江、長江一線對外的貿易，尚能維持偏安之局至被元朝滅亡為止。

現代，因分洪（疏洪）工程、防潮閘工程、水庫蓄水工程、以及洪水演算精確度的提高，在許多城市的河岸建設堤防，防衛 10 年一遇或 20 年一遇的洪水，效果良好。圖 24 示台北市撫遠街堤防的效果。圖 25 示台北市大直防洪牆的效果。



圖 24 撫遠街堤防的防洪效果（李錫堤教授攝）



圖 25 大直防洪牆的防洪效果（李錫堤教授攝）

## 土木工程保護古藝術品

拱壩保護古蹟藝術品之例：中國甘肅省武威天梯山大佛寺之前建一拱壩，以免上升的湖水淹沒大佛寺（圖 26 至圖 29）。



圖 26 武威天梯山石窟大佛寺外之護寺拱壩（洪如江攝）



圖 27 武威天梯山石窟大佛寺外之護寺拱壩與以與一尊大佛雕像（洪如江攝）



圖 28 武威天梯山石窟大佛寺（洪如江攝）



圖 29 武威天梯山石窟大佛寺上部（洪如江攝）

## 土木工程與地震災害防救

### 引言

地震，尚難預測，發生之快，受難者不及反應；因此，大地震所引發的災害，其震撼性居各種災害之首。在人類幾千年歷史之中，重大地震災害，常造成改朝換代，或竟造成一個文明的衰亡。希臘及愛琴海的許多古文明神廟與宮殿，因地震而成廢墟；也常因強敵乘地震之災入侵而滅亡，例如邁諾安古文明（Minoans）。

地震，自然現象之一，不可能阻止其發生，也尚難預測。而且，一旦發生，常常可以用「一發不可收拾」來形容其慘狀。目前，我們所能做的是：疏減（英文動詞為 *mitigate*，名詞為 *mitigation*）或減輕地震所能引發的災害。

地震相關災害的防衛，筆者建議下列層次：

- (1) 增進對自然環境（尤其指地形、地質、板塊運動、活動斷層、地震、等等）的了解與防災科技的研發。
- (2) 依自然環境特性及防災科技的能力，妥善規劃國土保育與利用。
- (3) 建立工程作業（operations，規劃、設計、施工、使用、維護、復育）的法規與制度。在法規方面，例如土木工程法（尚缺）、營造法、工程規則、工程規範（工址調查規範、設計規範、施工規範、維修規範）、等等。在制度方面，例如技師的教育、考試、

進修、考核、等等，各種工程作業的審查。

- (4) 慎選工址或工程路線：避開活斷層；避開地震可能引起落石或坍方之地，例如峭壁、懸崖、或斷層崖；避開地震可能引起土壤液化之地。如確實難以避免，必須從事地盤改良；明辨工址或工程路線的優劣，在安全與經濟之間求得平衡。
- (5) 提昇人造環境的耐震能力：尤其指安全的生活場所（例如住宅、學校、醫院、車站、等等），多迴路的維生線（例如自來水、電力、瓦斯、等等），堅固耐久的基本工程（Infrastructures，許多人譯為基礎建設，例如公路、鐵路、機場、海港、防災工程、等等）的耐震能力。

上列(4)，主要屬大地工程的範疇；上列(5)，主要屬結構工程的範疇。

筆者所認識的一些外國工程專家學者，一致認為：許多國家的地震規模與震度小於台灣者，但地震災害卻遠大於台灣者。究其原因，主要在於那些國家沒有像台灣有很好的工程設計規範。台灣的規範，並非完美，但規規矩矩照規範作業的工程，發生重大災害的機會極低；921地震（民國88年9月21日）之後，規範的增修更為積極。

我國關於建築工程設計的審查制度，立意良善。超高樓（樓高超過50公尺者）建築必須接受結構外審（獨立審查）。

## 大地工程與地震災害預防

### 選址選線與地震災害預防

從防災的觀點而言，選址或選線正確，就是工程成功的一半。許多工程破壞，常因選址或選線錯誤所致。

台灣 921 地震之時，中部台 3 線上的公路橋墩，無一不垮，只因位於車籠埔斷層；石崗壩也是世界上第一座壩工因斷層（車籠埔斷層）錯動而破壞者。因此，任何工程都必須避開活動斷層。普通低層建築，必須距離活動斷層邊緣（因為斷層都有相當寬度）50 公尺或 100 公尺以上；其他重要工程，尤其是核能電廠工程，應辦理動態力學分析，檢驗是否合乎安全距離的要求。

### 工程基礎與地震災害預防

堅強穩定的工程基礎，使整個工程在地震中有比較高的存活機會。台灣 921 地震之時，豐原中正公

園內與車籠埔斷層交會的房屋幾乎全被震垮或被震歪斜（例如 A 屋，圖 30 和圖 31），但有一棟樓房（B 屋）因為基礎及上部結構特別堅固而安然無恙（圖 30 至圖 32）。中興新村許多建築嚴重損壞，但一個一體成形的剛強性鋼筋混凝土水塔深座落地中，一條地表錯動約一公尺的斷層與水塔交會時居然繞道而過，水塔安然無恙（圖 33）。剛強性的工程結構物（包括一般建築），尤其是上部結構（地表看得見的部分）與下部結構一體成形者，耐震能力甚佳。深埋地下的工程結構物，例如隧道、地下電廠、地下庫房、等等，受地震的影響很小，但其出口易被震損而需要特別加強。

利用打樁的振動，使鬆砂的地盤變得較為緊密，不但降低土壤液化的可能，而且使工程基礎變得更為堅固。



圖 30 九二一地震時，車籠埔斷層交會的房屋，A 屋嚴重歪斜，B 屋因基礎堅強而安然無恙（洪如江攝於豐原市中正公園）



圖 31 九二一地震時，車籠埔斷層交會的房屋，A 屋嚴重歪斜（洪如江攝於豐原市中正公園）



圖 32 九二一地震時，車籠埔斷層交會的房屋，B 屋因基礎堅強而安然無恙（洪如江攝於豐原市中正公園）



圖 33 台灣九二一地震，車籠埔斷層在中興新村與一剛強水塔交會，繞道而過，水塔安然無恙（洪如江攝）

## 工程結構與地震災害防治

### 避免共振

工程結構物的自然頻率須遠離地盤的基本頻率，以免發生共振而破壞。

### 採用穩定的結構型態

儘量採用對稱與（包括圓形）結構型態。避免奇形怪狀或不規則的結構。

台灣與許多落後國家的中小學教室，走廊與教室之間的窗戶寬敞透光，但支撐（短柱）不足以抵抗地震力，再加粗製濫造，在強烈地震之時，大量倒塌。

### 餘裕承力構件的結構系統

結構系統的承力構件需有餘裕（redundancy），不致於因為一個構件或一個關節的破壞而使整個結構系統崩潰。

### 隔震結構系統

在強烈地震帶或活動斷層帶的橋梁、醫院、實驗室大樓、或高科技廠房，為避免其上部結構受到過大的震動，會在下部結構與上部結構之間裝置「隔震墊」，以免地盤震動經過基礎或低樓層上傳。台大土木系研究大樓在二樓裝置「隔震墊」（圖 34），增進大樓安全，也兼具研究與教學功能。

### 採用韌性材料、韌性構件、韌性接頭、與韌性結構

一般而言，精煉鋼是韌性材料；石塊、磚塊、或混凝土，是脆性材料。但若設計或施工不良，精煉鋼的構件與結構，照樣是脆性的。加勁的混凝土，通常稱為鋼筋混凝土，若設計與施工皆屬良好，也可以成為韌性構件與韌性結構。



圖 34 台大土木系新建研究大樓在二樓裝置隔震墊，隔絕經由基礎及一樓上傳的地盤震動（洪如江攝）

任何工程材料、工程構件、接頭、與工程結構，在極端作用力之下，難保不破壞；若採用脆性者，破壞之餘，完全崩潰，甚至於四分五裂，人在其中或其側，除非奇蹟，難有活命機會。若採用韌性者，即使損傷，並不會崩潰（圖 35）；人在其中或其側，除非已經受到重傷，常能找到保命的空間或逃生的通道。

隧道技工與工程師，當隧道嚴重破壞之後，如果支撐系統（專家稱之為支保工）是鋼結構，只要還剩有可以爬進去的空間，或稍為清理障礙物就有進去的空間，就敢直接進去救人或勘災；如果支撐系統是由石塊、磚塊、或混凝土所構成，必須逐步架設臨時支撐系統，並且挖出崩塌碎塊，得到安全的空間，才敢進入。

日本在阪神大地震之後，其重建之橋梁，多改用鋼梁。台灣 921 地震之後，許多高樓與超高樓的推案，常強調採用「鋼骨結構」或「加勁鋼骨結構」（SRC）。

古文明（例如希臘、愛琴海地區）以圬工（砌石、砌磚或夯土）建造的工程（神廟、宮殿、拱橋、等等），在強烈地震作用下，多已崩塌。



圖 35 在極端的災害作用下，韌性材料所建造的韌性結構會損傷，但不會崩潰（陳生金教授提供）

貧窮國家，即使在 20 與 21 世紀交替之際，還住土磚房屋，不耐地震。

### 重視結構細節

921 地震以前的台灣，以及許多落後國家，許多鋼筋混凝土建造的房屋，其箍筋量體不足或彎鉤角度不足；地震時，結構柱子的箍筋鬆脫，主筋張開，混凝土爆裂，造成整棟房屋的崩塌。

圖 36 示台大土木系尹衍樑教授專利技術所製作的螺旋箍筋將主筋嚴密圍束保護，克服上述缺失。圖 37 示鋼筋混凝土構件（梁或柱）中堅強的鋼筋組構。



← 圖 36 鋼筋混凝土柱的螺旋箍筋將主筋嚴密圍束，在強烈地震時今固若金湯，尹衍樑教授發明（洪如江攝）



圖 37 鋼筋混凝土構件（柱或梁）中的鋼筋組構（洪如江攝）

### 土木工程工業化與高科技化

台大土木系教授尹衍樑博士，利用自行研發的幾十項專利技術，將土木工程推向高科技化與工業化；許多梁、柱、等等構件，在嚴密控制下的工廠中，製造及保養，品質齊一。完成的梁、柱、等等構件，運往現場組裝，達到高科技產業所要求的「速度」、「品質」、與極高的「良率」。如此建造的工程，在正常使用之中，安全可期；在極端的地震力作用下，存活機率也高。

### 強烈地震災害的救援（以台灣 921 地震為例）

民國 88 年 9 月 21 日凌晨 1 點 47 分，台灣發生強烈地震（通稱 921 地震，地震規模 7.6），2,505 人遇難（含失蹤 52 人），11,305 人受傷。房屋全半倒各約五萬戶。中小學校舍受損 1,546 所，全倒 293 所。參考黃榮村（民國 98 年）。圖 38 及圖 39 分別例示台中霧峰光復國中校舍建築倒塌的情況及近照。圖 40 及圖 41 示樓房倒塌之例。

921 地震時，樓房高度 50 公尺以上者（通過結構外審）無一倒塌。倒塌之樓房高度多集中在 49.5 公尺左右，因為逃避結構外審。

民國 88 年 921 地震災後的校舍重建，多能師法不同族群的傳統文化，展現其藝術之美及合乎使用的功能。潭南國小重建之校舍，展現台灣原住民布農族傳統藝術之美。西寶國小重建之校舍，展現太魯閣族



圖 38 台中霧峰光復國中校舍建築於九二一地震時倒塌的情況（洪如江攝）



圖 39 台中霧峰光復國中校舍建築於九二一地震時倒塌的局部（洪如江攝）



圖 40 台灣九二一地震，樓房倒塌之例  
(歐陽一先生攝)



圖 41 台灣九二一地震，樓房倒塌近照 (歐陽一先生攝)

傳統藝術之美。至誠國小重建之校舍，展現閩南式三合院佈局的傳統之美。參見洪如江（民國 107 年 4 月）土木工程與文化（二）土木工程之美，土木水利 45 卷 2 期之圖 37 至圖 42。

類似台灣 921 地震發生許多嚴重房屋建築災害之後，必定有許多國家主動派遣城市救難隊協助救人（也兼操練）。以台灣 921 地震為例，當天傍晚，日本及美國的城市救難隊就已經到達台灣，歐洲國家的城市救難隊，第二天開始陸續到達。

值得一提的是：台灣 921 地震發生後 102 秒，中央氣象局地震測報系統就已經公開發佈，提供震央位置（location）、震源深度（depth）、地震規模（magnitude 7.6）、全島各地的震度圖（shaking intensity map），方便救災指揮中心調動救災部隊趕往震度最大的地區搶救，備受各國讚譽。

美國地質調查所（U.S. Geological Survey）地球物理學家（geophysicist）兼國家地震資訊中心（National Earthquake Information Service, NEIC）主任 MR. Waverly Person 在美國眾院（U.S. House of Representatives）科學基礎研究委員會（Subcommittee on Basic Research Committee on Science）陳述（statement）時說明：他的 NEIC 需要 3 小時才做出台灣 102 秒所能夠製作出的測報。因此，築城防衛不只靠硬體工程結構。妥善的工址調查、規劃、設計、施工、監造、驗收、妥善使用、監測，迅速且正確的災情測報、救災、災民安置，都很重要。

## 避難場所的預備

天災、地變、與人禍，首須預作防救的準備。重大災難發生之時，必有許多災民需要安置。先進國家，常有防災公園，寬廣的空地，水池，與救災物資（包括藥品、礦泉水、口糧、毛毯、帳篷、照明設備、等等）倉庫。每一社區的學校，建於較高的地點，避免洪水或海嘯的侵襲，避免坍方危害之地，結構必須特別安全，即使整個社區建築都已經毀壞，社區學校還必須可以用作災民收容所。

日本北海道奧尻島在強烈地震（1993 年 7 月 12 日， $M = 7.8$ ）之後，緊跟着又受到海嘯侵襲，好幾個社區受災嚴重。其中，青苗社區再因漁船被海嘯推上陸地，衝撞民宅而引發大火災，燒毀 300 多戶，僅 50 戶由消防隊拆除部分房屋為防火巷而得以保存。所幸其「青苗中學校」地勢較高，未受海嘯侵襲，且校舍結構堅強而安然無恙。筆者等前往勘災時，收容災民達 460 多戶（大多安置在其體育館中），並啟用醫療室、廚房、衛浴室、理容室、女士更衣室、郵局、電訊、貸款服務、儲物間、會義室、及各機構之辦公室，由「日赤」（日本紅十字會）主導。參考圖 42 至圖 46、洪如江與陳亮全（2005/02）。



日本北海道青苗社區的青苗中學校  
安全的學校，永遠是最後的避難所

圖 42 日本北海道奧尻島青苗社區受地震、海嘯及火災，幾乎全毀，但其青苗中學校安然無恙（洪如江攝）



圖 43 奧尻島青苗中學校體育館災民臨時住所之一角（洪如江攝）



圖 44 青苗中學校成為青苗社區的最後避難所，日本北海道奧尻島（洪如江攝）



圖 45 青苗中學校保健室成為災民收容所的診療所，日本北海道奧尻島（洪如江攝）



圖 46 青苗中學校保健室成為災民收容所的診療所，日本北海道奧尻島（洪如江攝）

## 土木工程防災之道，代結論

### 引言

災害預防重於災害治療，早就已經是眾所周知的公理。

災害預防，所有的人都有責任，土木工程界也有很大的責任，但是政府官吏與政府機器掌握了最大的資源與公權力，責任尤其重大。公權力在國土保育的行使，在先進國家已經不是問題，但在台灣反而是最大的問題，參見本文第 55 頁「國土過度開發及超限利用之災」。

### 道法自然

土木工程，從點（獨立結構）、線（例如一條道路）、面（二度空間，例如道路網絡、灌溉渠道網絡）、立體（三度空間，例如發電廠、捷運系統）、到四度空間（隨時間而成長的有生命土木工程），都佔用大範圍的自然空間（包括陸地、水域、空域）。中國幾千年傳統，大興土木之前，必有動土祭典，以資慎重。

老子道德經二十五章「人法地，地法天，天法道，道法自然」這一段文字，最受工程及建築界注意的是道法自然：了解自然、向自然學習、追求與自然和諧。

就土木工程而言，許多工程災情，是由於選址不當或選線不當。因此應該強調「人法地」（人遵循地球或大地的法則）。對板塊運動（Plate Tectonics）、斷

層系統、地形和地質的靜態現象及動態演化，從事調查、研究，應用於工程規劃、設計、施工、使用、復育。參考洪如江（2006）**天、地、人與大地工程**。

### 土木工程材料的創新

土木工程在目前使用最多的材料是鋼鐵、木材、水泥、塑膠、土、石。鋼鐵與水泥原料開採及煉製，耗費大量能源，傷害自然環境。筆者寄望於下一代的土木工程材料：**奈米材料**。讓我們先看自然界奈米材料給我們的啟示（道法自然）：

- 荷花葉片的表面，是一種奈米材料，其孔隙遠小灰塵顆粒的規模，所以不受灰塵的污染，也不受水分子的附著。這是清水混凝土追求的目標。
- 蝴蝶翅膀，是一種奈米材料，近乎透明，自然豔麗。新世紀工程材料的目標：奈米級纖維玻璃所構築的彩色水晶宮？
- 青蜓翅膀，材料是奈米級；但在結構上，剛柔並濟，使得飛行時的振動處於最有利於青蜓的狀態。對土木工程結構的動力學設計，具啟示作用。

玻璃的原料，矽砂與砂土，是地球表面最豐富的物質，製成奈米級的**玻璃纖維材料**，量輕，強度與韌性可比鋼鐵，工作性應比鋼鐵更好。但目前尚缺乏積極的研究，更談不上大量生產。

### 護土養木防災

#### 護土防災

美國西北部 Oregon Siskiyou NF Klamath 山脈 1556 至 1976 年現場的觀察與研究指出：自然森林，發生坍方的數量或體積設為 1；砍伐森林，其所引發的坍方數量或體積約為 10；開路上山，其所引發的坍方數量或體積約為 100。參見洪如江（民國 108 年 2 月）「土木工程與環境」。

義大利通奧地利的交通運輸山路，多僅有 1 車道或 1.5 車道；但定距離建設避車道或休息區（提供停車場、自來水、休息用座椅）。至於山區一天行程的遊覽區，只有步道。瑞士，多以纜車、三軌電力登山火車、棧橋及隧道，供山區交通運輸之需。參見洪如江（民國 108 年 2 月）「土木工程與環境」一文。

### 養木防災

人類首當其衝的危險為**氣候變遷**（Climate Change）。氣候變遷將引發多種災害的威脅、傷害。參見本文第 55 頁「**城市黑洞效應之災**」。

林樹，在暴雨侵襲之時，雨滴的力量，經過樹葉、樹枝及落葉及草地多層次化解，已經衰弱，不至於沖洗表土。縱深很大的森林，甚至於可以擋住土石流的前鋒部隊（巨石群，圖 47），讓水及細土通過，消滅土石流。

每一棵大樹能夠在豪雨之時涵蓄 1.5 噸的水（成為地下水庫的一部分），在乾旱之時釋放出來。樹林不可能在短期內長出來，因此，山區森林的保護極為重要。

綠色植物，具**排放新鮮氧氣、吸收二氧化碳、調節微氣候**、等等功能。

從本文第 55 頁的**城市公共綠地百分比 (%)** 與**因空氣污染而死亡人數對照表**可知：城市公共綠地百分比較低者，因空氣污染而死亡人數較多。

### 四度空間的土木工程

#### （動、植物可以是土木工程的部份或全部）

借動、植物之助，發展出**有生命、隨時間而增強**（至少，是**長壽**）的土木工程結構物或系統，成為「**四度空間**」的土木工程。

宋代蔡襄（西曆 1012 ~ 1067）在泉州建洛陽橋（西曆 1053 ~ 1059）。當時並無深橋基技術，蔡襄令船夫收集帶殼牡蠣混合花崗石塊，堆積橋墩周圍。牡蠣帶殼隨時間成長，將石塊膠固。進一步閱讀，參考：『**宋史蔡襄傳**』：「種蠣於礎以為固」；『**福建通誌**』：「會蔡襄守郡，



圖 47 土石流被縱深很大的森林擋住了，林木及樹根雖然被土石流剝皮，卻依然屹立不倒（洪如江攝於台大溪頭實驗林）



圖 48 在鐵線腐爛之前，藤類植物接力保護（洪如江攝）



圖 49 彰化海邊的磊石矮牆，以藤類植物網捆綁之，越久越強（洪如江攝）



圖 50 崩塌之路坡以植物修復保護之（台三線公路）（洪如江攝）



圖 51 美國加州桔郡的一條渠道，以植物護岸為主（洪如江攝）

踵而成之，以蟻房散置石基，益膠固焉。」；明『**王慎中記**』記萬安橋：「址石所壘，蟻輒封之。」；茅以昇主編（民國 83 年）『**中國古橋技術史**』（明文書局出版，台北市）。這是借動物之助，膠固橋基的著名案例。

圖 48 示蛇籠在鐵線腐爛之前，藤類植物接力保護。圖 49 示彰化海邊的磊石矮牆，以藤類植物網捆綁之，越久越強。圖 50 示崩塌之路坡以植物修復保護之（台三線公路）。圖 51 示美國加州桔郡的一條渠道，以植物護岸為主。

## 誌謝

感謝台灣科技大學營建系陳生金教授提供高韌性鋼骨梁柱接頭資料（圖 35）。

感謝台大土木系尹衍樑教授展示專利技術所製作的螺旋箍筋將主筋嚴密圍束的模型，供拍攝照片（圖 36 和圖 37）。

感謝歐陽一先生提供台灣九二一地震，樓房倒塌照片檔（圖 40 和圖 41）。

## 建議參考文獻

1. 邱建國（民國 94 年 2 月），「南亞大地震與海嘯」，*土木水利雙月刊*，32.1。
2. 美國地質調查所，<http://www.usgs.gov/>。
3. 日本氣象廳，<http://www.jma.go.jp/>。

4. 洪如江（民國 106 年 12 月）「土木工程與自然」，*土木水利雙月刊*，44.6。
5. 洪如江（民國 108 年 2 月）「土木工程與環境」，*土木水利雙月刊*，46.1。
6. *National Geographic*（2016）看見齊柏林。
7. 齊柏林（民國 102 年）*我的心 我的眼 看見台灣*，圓神出版，齊柏林空拍，劉克襄文字。
8. 台灣阿布出品**鳥目台灣**。
9. Mayor of London (2012), *World Cities Culture Report*.
10. Lelieveld, *et al.* (2015), "The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale," *Nature* **525**, 367-371.
11. Mayor of London (2019), World Cities Culture Forum.
12. Ting-Chun Lai, *et al.* (2017), Burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure in Taiwan, *Journal of the Formosan Medical Association*, Vol. 116, Issue 1.
13. 洪如江（民國 107 年 4 月）土木工程與文化（二）土木工程之美，*土木水利雙月刊*，45.2。
14. Pannell, 1964, *An Illustrated History of Civil Engineering: V. Water Supply & Public Health*, Thames and Hudson, London.
15. **孟子卷五滕文公上**
16. 洪如江與陳亮全（2005/02），「1993 年 7 月 12 日之日本北海道西南方地震海嘯事件的回顧與檢討」，*土木水利雙月刊*，32.1。
17. 洪如江（民國 95 年 8 月），*天、地、人與大地工程*，財團法人台灣省大地工程技師公會與財團法人台北市大地工程技師公會發行。
18. **宋史蔡襄傳**。
19. **福建通誌**。
20. **王慎中記**。
21. 茅以昇主編（民國 83 年）『**中國古橋技術史**』（明文書局出版，台北市）。
22. 黃榮村（民國 98 年），**台灣 921 大地震的集體記憶**，印刻出版。
23. Mayor of London (2012), *World Cities Culture Report*.
24. Wikipedia, *The Free Encyclopedia: Cholera*. 