

土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

October
2017



ISSN 0253-3804



NT\$300



Volume 44, No. 5

社團法人
中國土木水利工程學會 發行
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

第二十三屆
理監事

選舉結果公告

專輯

水利防災工程

土木工程在
人類文明
演進中的功能

木鐸集

社團法人中國土木工程學會公告

日期：中華民國106年11月17日

字號：(22)土水發字第1060316號

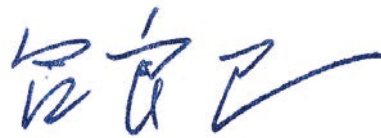
主旨：為公告本學會第二十三屆理事、監事選舉結果。

依據：人民團體選舉罷免辦法及本學會章程。

公告事項：選舉結果：

- 一、會員王炤烈當選為第二十三屆理事長。
- 二、會員陳仲賢、楊偉甫、歐來成、歐善惠先生等四位當選為第二十三屆常務理事。
- 三、會員朱旭、余信遠、吳瑞賢、宋裕祺、沈景鵬、林呈、林其璋、胡宣德、倪惠妹、高宗正、張荻薇、許泰文、陳彥伯、黃兆龍、廖學瑞、劉沈榮、劉恒昌、謝啟萬等十八位當選為第二十三屆理事。
- 四、會員呂良正當選為第二十三屆常務監事。
- 五、會員李元唐、李建中、周功台、陳清泉、楊永斌、薛春明等六位當選為第二十三屆監事。
- 六、會員林子剛、胡湘麟、徐力平、徐輝明、高銘堂、莫若楫、陳耀維等七位當選為第二十三屆候補理事。
- 七、會員周南山、陳國慶等二位當選為第二十三屆候補監事。

第二十二屆理事長



土木水利

社團法人中國土木工程學會會刊



封面圖說

上左：財團法人海峽交流基金會辦公大樓（台北市中山區）
上右：台北縣特二號道路地3-1標中正路至大漢溪橋-新莊特二號道路
下左：樹林國民運動中心興建統包工程（新北市樹林區）
下右：國立台大醫院兒童醫療大樓新建工程（台北市中正區）

根基營造股份有限公司承攬

土木水利半月集

先進工程

- 混凝土工程
- 鋼結構
- 運輸工程
- 鋪面工程
- 資訊工程
- 工程管理
- 非破壞檢測
- 先進工程

永續發展

- 永續發展
- 國土發展
- 水資源工程
- 大地工程
- 海洋工程
- 環境工程
- 景觀工程
- 綠營建工程
- 能源工程
- 天然災害防治工程
- 工程美化
- 營建材料再生利用

國際兩岸

- 國際活動及亞洲土木工程聯盟
- 兩岸活動
- 亞太工程師

教育學習

- 工程教育
- 終身學習
- 土木史
- 工程教育認證
- 大學教育
- 技專院校
- 學生活動

學會活動

- 學會選舉
- 學術活動
- 土水法規
- 介紹新會員
- 專業服務
- 學會評獎
- 學會財務
- 年會籌備
- 會務發展
- 會士審查
- 公共關係 [工程倫理]

出版活動

- 中國土木工程學刊
- 土木水利雙月刊

分會

- 土水學會
- 土水南部分會
- 土水中部分會
- 土水東部分會

發行人：呂良正

出版人：社團法人中國土木工程學會

主任委員：宋裕祺（國立台北科技大學土木工程系教授、編輯出版委員會主任委員兼總編輯）

副主任委員：王華弘（明新科技大學土木工程與環境資源管理系副教授）

委員：王昭烈、何泰源、李順敏、李維森、林鎮洋、徐景文、曾昭衡
曾惠斌、黃尹男、廖肇昌、劉格非、鄭家齊、謝尚賢

（依姓氏筆劃排序）

定價：每本新台幣300元、每年六期共新台幣1800元（航郵另計）

繳費：郵政劃撥00030678號 社團法人中國土木工程學會

會址：110055 台北市中正區仁愛路二段一號四樓

電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260

網址：http://www.ciche.org.tw

電子郵件信箱：service@ciche.org.tw

美編印刷：中禾實業股份有限公司

地址：22161 新北市汐止區中興路98號4樓之1

電話：(02) 2221-3160

社團法人中國土木工程學會第二十二屆理監事

理事長：呂良正

常務理事：曹壽民 張荻薇 楊偉甫 歐善惠

理事：王昭烈 朱旭 李元唐 宋裕祺 沈景鵬 林其璋 吳瑞賢
胡宣德 高宗正 莫若楫 許泰文 陳仲賢 陳彥伯 陳國慶
廖學瑞 歐來成 劉恒昌 謝啟萬

常務監事：周南山

監事：李建中 李順敏 林志棟 張培義 楊永斌 壽克堅

秘書長：倪惠妹

中國土木工程學會任務

1. 研究土木水利工程學術。
2. 提倡土木水利最新技術。
3. 促進土木水利工程建設。
4. 提供土木水利技術服務。
5. 出版土木水利工程書刊。
6. 培育土木水利技術人才。

土木水利雙月刊已列為技師執業執照換發辦法之國內外專業期刊，土木工程、水利工程、結構工程、大地工程、測量、環境工程、都市計畫、水土保持、應用地質及交通工程科技師適用。

中國土木工程學會和您一起成長！

中華郵政北台字第518號 執照登記為雜誌 行政院新聞局出版事業登記証 局版臺誌字第0248號

防災的研發與應用專輯 (客座主編：劉格非教授)

- | | | |
|-------------------------------------|-------------|----|
| 📖 專輯序言：水利防災工程 | 劉格非 | 3 |
| 📖 論水利防災之價值與績效 | 顏清連 | 4 |
| 📖 水利防災中水生生態系統面臨的挑戰 | 施上粟 | 10 |
| 📖 水利工程規劃決策評價概念探討：成本效益分析、風險分析架構及風險控管 | 游景雲／王元亨／楊智傑 | 17 |
| 📖 從仙台減災綱領看台灣歷年水利防災工程之成效 | 李欣輯／黃桂卿／楊松岳 | 35 |
| 📖 海岸防護 | 吳鴻業 | 42 |
| 📖 逕流分擔規劃打造韌性城市 — 以嘉義縣故宮南院周邊排水路為例 | 楊松岳／陳肇庭／林政浩 | 48 |
| 📖 論水利防災之親水文化重建 | 李文正 | 56 |

研究發展

- | | | |
|----------------|--------|----|
| 📖 兩岸綠建築評價系統之比較 | 蘇南／羅舒晏 | 61 |
|----------------|--------|----|

水鐸集：土木與文明

- | | | |
|-------------------|-----|----|
| 📖 土木工程在人類文明演進中的功能 | 洪如江 | 66 |
|-------------------|-----|----|

學會資訊看板

- | | | |
|---|-------------|-----|
| 📖 中油公司台中液化天然氣廠二期儲槽及氣化設施擴建工程參訪花絮 | 李瑞堂／張家睿／金正果 | 75 |
| 📖 第二十三屆理監事選舉結果公告 | | 封面裡 |
| 📖 國際救援行動報導 — 緬甸 Myanmar Engineering Society (MES) | | 9 |
| 📖 台灣公共建設檔案工作成果報告 | | 41 |
| 📖 參加 JSCE 2017年會 @日本九州 | | 47 |
| 📖 106年年會暨2017土水國際論壇 建構永續工程、培養永續工程師 | | 封底 |

廣告特搜

- | | |
|-----------------------------|-----|
| 根基營造股份有限公司 — 誠信 品質 服務 創新 永續 | 封面 |
| 經濟部水利署 — 打造無陷空間 | 封底裡 |
| 台灣世曦工程顧問股份有限公司 — 用心 做好每一件事情 | 78 |



水利防災工程

專輯序言

專輯客座主編 劉格非／國立臺灣大學土木工程學系水利組 教授

水利防災工程是目前台灣面對氣候變遷下最需要的工程之一，如果水利防災做不好，有可能使我們過去一世紀建設毀於一場颱風豪雨，或者因為一段時期的缺水，導致國家民生與生產危機。不可諱言，隨著氣候變遷，我們面對的災害潛勢不斷上升，目前針對防災建造的水利工程設施，未來可能都無法應付災害的威脅，所以我們必須把防災建設的整個思維，做適當的修正。但是水利防災包含了許多面向，淹水、乾旱和農漁牧產損失等等，每一個方向都有許多可以加強的，不可能一次談完，這次專輯就先專門針對淹水來談。

常常有人說，工程設計有其上限，在金額限制下，我們就只能做這麼多，尤其現在降雨愈來愈集中，防災困難度也越來越高，工程只可能做到有限度減低災害損失的！


這種說法看起來似乎沒有錯，但是其中有好幾個盲點，也就是這些盲點，造成了工程人員在設計防災設施時的方向偏差。因此這個專輯，我希望找一些在做防災工程時，一般工程都缺乏考慮（或不知道如何考慮）的方向，暫且稱呼這些方向為「Missing Pieces in Flood Disaster Prevention」，我們可以先舉防災效益、多元規劃與民眾教育幾個例子來解釋。

首先防災金額的限制，是因為大家認為水災損失就是民眾損失，而沒有持平去看相關的交通損失、產業損失，而民眾損失在目前大部分是由民眾自己負擔，因此當然就沒有必要投資，但是如果真正探討起來，事實上防災工程能提供的投資報酬，遠遠超過一般人想像，把真正效益產生的地方點出來，在工程規劃與維護上，就會有不同方向與比重了，這是盲點一。

其次工程設計有其上限，這是單指一項工程，把多種措施，尤其是生態與防砂方面考量進來，原來規劃抵抗百年回歸期的工程設施，其能力就會倍增，但是不考慮整體規劃，原來規劃的設施有可能在短期內，防災能力大幅低於原設計值，這是目前較缺乏考慮的盲點二。

再來就是目前受惠的民眾都認為政府做這些是理所當然，卻不了解民眾本身的行為卻是維護這些設施，甚至是增加這些防災設施能力的最重要一步，例如都市排水系統阻塞、不當開發產生土砂與漏水、民眾於災害潛勢區域開發居住等事件，若民眾不去做這些事情，相關災害根本就不必去防，但是目前完全缺乏民眾教育，導致工程人員必須去考慮這些幾乎無法處理的高風險，這也算是工程設計的盲點之三。

就像以上的例子，還有其他的盲點，也許目前的工程人員並不知道、或不知道如何去考慮，但是這些以前沒有想到沒有去做的，都已經不能再忽略了，也就是防災設施的規劃，應該要適當的考慮這些面向了。

一個完整的工程，當然必須經過規劃、評估、建造，最後是維護的過程，是否有良好的規劃與持續的評估，決定了這工程是否持續有效。因此這份專輯，我們找了幾個方面的專家學者，來把可以考慮的、目前已經開始在做的、未來可以做的，以不同應用方向寫出來，同時也把國際上有些已經執行的措施，提出參考。希望讀者看完之後，能有所體會與進一步探討，讓我們把台灣聞名於世的防災更進一步，做到民眾也引以為傲。



論水利防災之價值與績效

顏清連／國立臺灣大學土木工程學系名譽教授、水工試驗所特約研究員

水利防災工作包括水災、旱災與水關聯環災之防治，而災損的減輕即為其價值與績效所在，因此防災工作事前與事後的災損評估為必要工作。本文用意在於拋磚引玉，故由防災價值觀之論述出發，進而建議：採用六個價值指標大項、各大項由若干指標細項所構成，並以危害度、曝露度及脆弱度等因素之考量來篩選指標細項，建構評量系統，用以評量各大項之指標值並轉化成貨幣單位，再與成本比較、顯示其價值與績效，期能以社會大眾有感的方式呈現。

前言

當人們看到「水利防災」這四個字時，很可能在腦子裡首先浮現的是一幅住家和社區淹水的圖像，再接下來可能是路斷、橋垮、堤潰…等等。這些都是一般人在生活當中常有機會遭遇到水災的真實情況；就他們的經驗來說，「水利防災」就是設法防止水災發生或減輕水災所造成的生命財產損失至最低程度。雖然根據人們的生活經驗為「水利防災」下的這個定義相當符合經驗法則，但嚴謹來看可以說是屬於狹義的「水利防災」。

事實上，從一個較廣的角度來看，水利防災工作就是在處理解決水太多、水太少和水太髒的問題。水太多造成洪水氾濫，所以要建造堤防、抽水站、排水系統、建立洪水預報系統、成立救災應變機制等等，以儘量減少災損與生活不便。水太少就會形成旱災風險，所以要興建蓄水庫、海淡廠、輸配水系統，以蓄豐濟枯互通有無、降低缺水機率、滿足生產與生活之需求。水太髒不但造成環境污染、破壞生態平衡等環境災害（以下簡稱環災），並且可能會減少可用水量而連帶引發缺水問題，所以要興建污水處理廠、淨水廠、污水下水道系統等，以減輕污染、維持生態環境永續。總而言之，廣義的「水利防災」應該包括水災、旱災及環災等三個面向。

由各類水問題的立場來看，台灣是位於不利的地理與地質環境中，颱風每年有三至四次侵台的機會，而且在春夏之交還有梅雨來襲，颱風雨與梅雨之強度高、雨量大，原已容易造成洪水氾濫。近年來，全球溫室氣體排放量急速攀升，造成全球暖化與氣候變遷。異常天氣日益加劇，以致短延時強降雨造成洪澇、土石流等災害頻率升高，除導致難以估計的生命財產損失之外，更使基礎設施如道路、橋樑、堤防、維生管線等受到嚴重的破壞。尤其是在強震之後土石鬆動的坡面再遭到強風豪雨侵襲時，引發大量土石崩塌，其中部份隨著洪水進入河道、水庫及平原地區形成複合型災害。例如水庫因淤砂減損庫容可能導致未來缺水而演變成旱災風險；又如集水區的大規模崩塌和沖刷可能導致生態平衡的破壞而變成環災。這些複合型災害問題的處理解決難度更高、時間更長、投資更多。

水利防災工作同時亦受到許多社會經濟活動的影響或制約。一方面，由於經濟快速發展、人口增加且大規模都會化，使土地開發的密度與強度均不斷升高、水資源過度利用以及廢污水大量排放…等人為因素的衝擊，以致水關聯災害的問題更形嚴重。另一方面，在人們累積更多財富、提高生活水準之後，對於保護生命財產安全以及用水量的需求亦即跟著水漲船高。另外，多年來在環保運動以及永續理念推行之下，社會的環保意識已經抬頭，因而對環境生態保育之要求

已是日趨嚴格。顯然地，人們對上述「水利防災」三個不同面向的需求之間是有互相矛盾、制約關係的。換言之，若要完全滿足某一方面的需求，則必須犧牲另一或兩方面的水準，因此只能在三者之間尋求某一程度的平衡。然而平衡位置的選擇又牽涉到解決問題所需投入社會資本的多寡。

在台灣社會開放、民主意識高漲、公共事務參與熱烈的情況下，水利防災這樣的公共建設（包括軟、硬體）所需要社會資本投入及其所產生的效益，不論事前或事後都必須接受嚴格的民意（包括民意機關、民間團體及公眾媒體等）問責考驗。水利防災工作的價值並不是一般市場交易產品的價值，因此主政機關／構如何將水利防災工作之投入成本、產出價值與績效，以社會大眾有感的方式呈現，是目前最具挑戰性而且有重大意義的任務之一。

防災價值觀

事實上，我國自 1982 年國科會啟動「大型防災研究計畫」以來，經過「國家型防災科技計畫」、「強化研發與落實方案」到目前的「應用科技方案」，學術界與實務界一直都非強調科技研發成果必須落實應用於防災施政計畫，而防災計畫實現後的災損減輕就等於是防災工作的價值。因此，就有了「颱風洪水災損評估系統」^[1]及「地震災損評估系統」^[2]之研發與建置。災損受到諸多自然、經濟、社會及生態…等因素的影響，因而災損及防災價值評量工作，不論事前預估或事後評估，都是一件相當複雜且困難的工作。為使防災工作的價值評量更趨完整且能使社會大眾更有所感，筆者亦曾倡議防災工作的價值評量應包含學術面、技術面、經濟面及社會面的指標^[3]，並應進一步考慮將環境生態安全與世代公義等因素納入整合性防災計畫（如國土保育治理計畫）的價值評量指標^[4]

在國際上，防災工作及其所帶來的價值亦受到高度的關注。聯合國相關組織於 2015 年 3 月份在日本仙台市舉行的第三屆世界減災會議，通過 2015~2030 減災綱領（以下簡稱仙台綱領），宣示未來 15 年內期待在各國共同努力之下，可以獲得下列成果^[5]：

具體降低個人、企業、社區以及全國的災害風險與損失，特別是在人命、生計和健康，以及經濟、實體、文化和環境資產等項目。

為能取得這些成果，仙台綱領呼籲世界各國不同層級的政治領導人在防災工作的落實執行與績效追蹤上，必須有重大的承諾與高度的投入，並領導創造有利的條件，以追求減輕對災害的曝露量（exposure）與脆弱度（vulnerability）、強化應變及復原重建整備度，進而提升耐災能力等目標之達成。

為協助評估各國在達成以上所述的各項成果與目標的進展，仙台綱領指出國家層級的防災工作成效指標共七項，其中與防災價值直接關聯者有五項：

減少死亡人數（以每 10 萬人口數為單位）；

減少受影響人數（以每 10 萬人口數為單位）；

降低直接經濟損失（以 GDP 百分比為單位）；

降低基礎設施損壞與服務中斷損失（如交通、水電、醫療、教育等）；

提升防災資訊可級性（如早期預警、災害風險等）。

以上五項指標皆以未來一段時間（如 2020~2030）預估（或實測）數據與過去一段時間（如 2005~2015）實測數據作評量與比較，並以具體量化指標值來呈現防災工作價值；而且防災價值可隨防災技術／方法之改進與投入資源之增加而提升，因此可適合用作水利防災價值指標大項。不過，各個價值指標大項的評量作業還須由其影響因子所構成之指標細項來達成。

由引用仙台綱領而來的五個防災價值指標大項中並沒涵蓋降低環災相關的項目。實際上，水利防災工作可以強化水環境保育，因而降低水災、旱災、環災的衝擊，具有相當重要的價值^[6]，故應列為第六個價值指標大項。

具體量化之後的水利防災價值可考慮經由「願付價格法」的轉換程序予以貨幣化。雖然減少死亡人數的價值是否可以用貨幣化方式表示一直存在很多爭議，但有不少研究文獻顯示已初步歸納出一個以貨幣為單位的價值^[7,8]。貨幣化價值加總之後，就可以「等同效益」的結果呈現，等同效益必須與投入成本比較才能顯現水利防災績效。因此，對於投入成本亦須作深入的分析，成本的構成因子相當明確具體，故其分析應是相對容易的。

價值與績效指標

水利建設之績效向來是以益本比作為評量指標，顯然績效指標可分成效益指標及成本指標兩類來思

考，成本一般是以貨幣單位來衡量，所以效益當然也要用貨幣單位來表達。效益指標包含有可量化部份與所謂的不可量化部份。前者之分析一般而言都有相當明確的規範可依循；後者通常以前者的一個百分比來作簡化處理，雖具有相當大的彈性，但卻因而常引起熱烈討論、爭論甚至嚴重質疑，故應儘量設法將原為不可量化部份的相關價值指標項目予以量化並進而貨幣化成為效益的一部份。

在每一個價值指標大項之下，一般都會有多個相關指標細項。例如受淹水災害影響的人數明顯地與淹水範圍、深度及延時等致災因子成正相關。因此，可藉由提高排水系統及抽水站的容量等防災工作來降低致災因子，以減少受淹水災害影響的人數。受影響人數減得越多當然效益就越大，但可能成本也會跟著升高。由此可見，雖然把這些致災因子全部降到最低可得到最大效益，但並不見得是最好的績效。

降低淹水範圍、深度及延時等因子的防災工作是以硬體設施來降低保護對象的曝露度及脆弱度。其實，採用若干軟體措施，例如提供即時的適當防災資訊，可以提升居民的應變能力或容受度，亦即降低了曝露量及脆弱度。同樣地，透過管理措施，例如遷離部份居民與設備，亦可以降低曝露量及脆弱度。

由以上所述可知，就減少淹水災害而言，降低淹水面積、深度、延時等因子就可以減少受影響人數（第二大項指標值），表現了防災工作所產出的價值，因此可以採用這些因子或其組合作為指標細項。同時，這些因子的降低程度也代表了防災工作所需投入成本的額度。顯然這組指標細項適合用於第二指標大項，但不見得可適用於其他五個指標大項，例如在第四指標大項之下，對堤防或橋樑損壞而言，選擇尖峰流量及流速作為細項指標可能較為合適，因為堤腳或橋墩的沖刷與流量及流速等因子都有接關係，而與淹水範圍及深度等因子的關係相對較少。

另外，降雨總量、強度及延時等因子同樣會影響淹水災害或其他災項的致災因子，連帶地也改變了防災工作的價值與績效。換言之，不同規模的降雨事件形成不同的危害度（hazard），而不同的危害度對於已定的防災工作計畫會產出不同的價值與績效。因此，在水利防災價值與績效評估時，降雨事件發生機率必須納入考量。

綜合而言，災害事件的危害度（ H ）、受災區域的曝露量（ E ）、以及受災對象的脆弱度（ V ）等因素對於災損有直接關係。這三個因素的相互關係如圖 1 所示，圖中三個大圓圈的大小分別代表 H 、 E 、 V 的高低，其交集 L 代表災損風險；當 H 、 E 及 V 三者都很大時， L 也跟著變大。換言之，高危害度（如降雨量大）搭配高曝量（如人口數或工廠數多）及高脆弱度（如老人及幼童人口比例高）就會造成高災損風險。相反地，若將 E 和 V 降低到小圓圈，則兩者與 H 的大圓圈就沒交集，亦即無災損風險；若 E 和 V 維持大圓圈，則與 H 的小圓圈一樣沒交集。由此可知，防災工作的目標就是要設法將 E 和 V 的圓圈縮小，使交集 L 變小，以提高其價值。

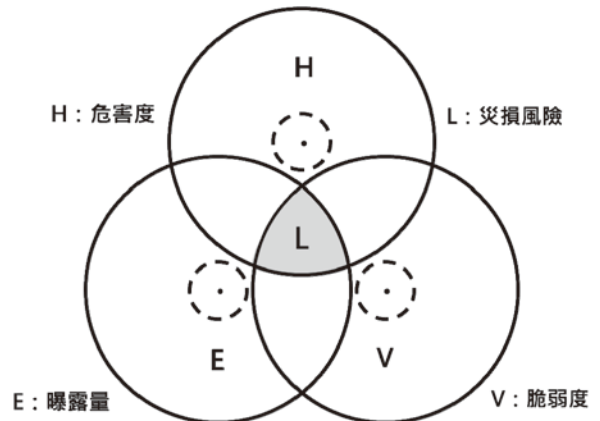


圖 1 災損風險與危害度、曝露量及脆弱度之關係示意圖

評量系統構建

如上所述，水利防災工作多以益本比為績效指標，而績效評量過程將涉及諸多因子，且彼此互相關聯，故將其間相互關係先以簡化之架構呈現，如圖 2 所示，再分別依序說明如下：

成本評量

水利防災工作計畫的成本可分成兩大類，其一為硬體設施成本，如堤防、抽水站、蓄水庫 … 等；另一為軟體運行成本，如應變整備與操作、教育訓練、資訊溝通 … 等。不論硬體或軟體，成本分析計算都已有相當嚴謹的規範可依循，只要計畫之規模、規劃及設計已經確定，即可按照規範進行分析計算，取得結果。

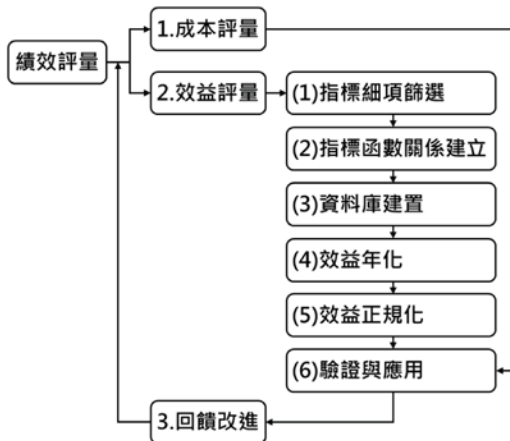


圖 2 水利防災績效評量系統架構示意圖

硬體建設成本多為一次性的投入，而且有一定的使用年限限制（或稱生命週期），而軟體運行則是每年進行，故其成本為經常性的年成本。因此，通常將硬體建設及其維運成本轉換成年成本，然後再加上軟體年成本成為該防災工作計畫的年成本，以方便與年效益作比較。

針對一個地區（如縣或市）而言，可能同時有許多項防災工作計畫。在進行全面性的防災績效評量之前，應按平時減災、災前整備、災時應變及災後復原重建等階段所投入的各項成本（甚至包括技術研發、資訊監測等）逐項詳細盤點並且深入分析，以力求完整。

效益評量

(1) 指標細項篩選

針對於個別指標大項，首先列出相關的可能指標細項，然後依照可否降低曝露度及脆弱度（或提高容受度）以及細項之間是否具互相獨立性的原則，一一檢視斟酌後，再來選擇其應否被涵括之指標細項。例如曝露量隨淹水面積之增加而增加，脆弱度隨淹水深度、延時之增加而增加，而且對一個指定地區來說，淹水深度及延時會隨淹水面積之增加而增加，因此減少淹水面積亦同時降低了脆弱度。顯然經過這個檢視斟酌歷程，就可選擇淹水面積為災損細項指標之一，但捨去淹水深度及延時。

至於旱災與環災相關的水利防災工作，亦可運用同樣的思考邏輯，針對台灣的特殊的水文、地文、生態、經濟與社會環境，來篩選出適合用於評估各大項指標之下的細項指標。

(2) 指標函數關係建立

防災工作計畫實施前、後的災損指標值差額經貨幣化即為防災工作的效益，因此在進行效益評量之前必須先分別建立個別指標大項與其相關指標細項的災損函數關係，可表如下：

$$L_j = f(I_{j1}, I_{j2} \cdots I_{jk}) \quad (1)$$

其中 L_j 代表第 j 個指標大項的災損指標值； $j = 1 \sim 6$ ； $I_{j1} \sim I_{jk}$ 分別代表第 j 大項之各災損指標細項； k 為細項個數，依指標大項而異。

災損函數關係建立之後，再以防災工作計畫實施前與實施後之相關細項指標值代入，分別求得其災損指標值，兩者之差額乘以貨幣化轉換係數 C_c 即為其效益指標值 B_j ，故效益函數關係可表如下：

$$B_j = C_c [(L_j)_b - (L_j)_a] \quad (2)$$

其中 $(L_j)_b$ 及 $(L_j)_a$ 為計畫實施前、後之第 j 項災損指標值。有些災損指標值如經濟損失及基礎設施損壞可直接以貨幣值計算，因此這部份的效益就直接以貨幣單位呈現，亦即 $C_c = 1$ ；其餘非貨幣單位的效益指標值則須透過各種方法，例如以願付價格法求得貨幣化係數 C_c ，轉換成貨幣單位效益指標值。最後將貨幣化之六大項效益加總即為水利防災計畫之效益。

運用願付價格法將防災價值貨幣化須透過問卷查訪來瞭解受訪者的感受與意願，因涉及受訪者的教育、社會、經濟及心理…等因素，故問卷設計及查訪作業必須納入這些因素的考量，以力求貨幣化係數準確反應受訪者的意願。

(3) 資料庫建置

建立效益指標函數關係有賴過去發生災害事件的紀錄資料。由於效益指標值受到各種自然、社會及經濟因子的影響，因此資料蒐集應以能適度反映危害度、曝露量及脆弱度者為準，才能使指標值函數關係之建立系統化。

資料庫建置開始之前，應事先就所需資料項目，按災害類別、指標大項及細項，一一盤點並加以確認，以方便進行有系統的蒐集及品管。例如淹水事件災區的各项相關資料為：

- 降雨：雨量、雨強、延時；
- 淹水：面積、深度、延時；
- 災損：基礎設施、家戶財產、工商產值；
- 人口：死亡人數、受影響人數、受影響程度或等級。

(4) 效益年化

上述式 (1) 中之細項指標值，如淹水面積會隨降雨量而變，當然災損指標值 L_j 亦隨降雨量之增加而增加。因此，在社經因子條件給定的情況下，式 (2) 表明 B_j 是對應於某一定規模降雨量的效益，而該降雨量可能一年發生數次或許多年才發生一次。換言之，防災工作計畫之效益及績效評量必須將降雨量的發生機率納入考量。在防災計畫實施前並不是每一個降雨事件都會造成災害，而是在降雨量大於某一門檻值以上才會致災，因此應先將歷年的各事件雨量 (R) 紀錄超過致災門檻值 (R_0) 者挑出，然後進行機率分析，並將結果繪成致災的事件雨量發生機率分布圖，如圖 3 所示。

將圖 3 各個區間的代表雨量代入式 (1) 即可分別求得各該區間的 $(L_j)_b$ 及 $(L_j)_a$ ，再由式 (2) 求得其對應的效益 $(B_j)_i$ ，並將其乘以各降雨量之發生機率 p_i 後加總即可得年化效益如下：

$$\bar{B}_j = \sum_1^n p_i (B_j)_i \quad (3)$$

其中 \bar{B}_j 為第 j 項指標大項之年化效益； n 為超過門檻值的事件雨量發生機率分布圖之區間數。

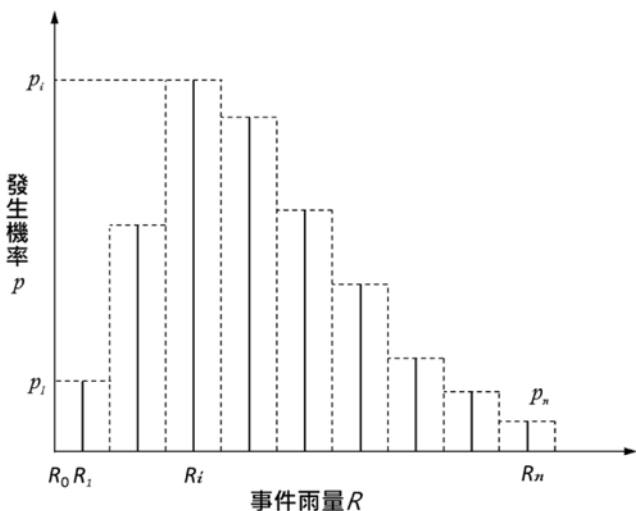


圖 3 超過致災門檻值 (R_0) 之事件雨量機率分布示意圖

(5) 效益正規化

績效評量結果常用於跨時段的比較或跨區域的比較。在同一個區域的不同時段可能會因為自然因子（如雨量、雨強、地形、地貌等），或社經及環境因子（如人口密度、產業密度、生態保育等）的不同，而致評量結果不全然反映防災工作的效益（或績效）。因此，評量所得的效益應先予以正規化 (normalization) 再作比較。

所謂效益正規化，是將不同時段或不同區域影響因子的條件調整成一樣的情況下之效益。在評量某項防災計畫之效益時，就是要比較計畫實施前、後各一時段（如 10 年）的實際災損差額，但此一差額可能包含了前、後時段因事件雨量不相同（假設社會、經濟條件相同）的影響在內，因此必須將此結果加以修正，才能真正反映該防災計畫實施後的效益。修正方式可以將前一時段的事件雨量調整成和後一時段者相同，然後由已建立的災損函數關係推估修正災損量及正規化效益。如果社會及經濟因子在前、後時段有所不同，亦可用同一方式修正。

正規化的參數可考慮由組成危害度的自然因子以及組成曝露量或脆弱度的社經因子... 等篩選出來。

(6) 驗證與應用

依以上所述概念，建置完成各個項目之後，就構成一個績效評量系統。這個系統必須先經過驗證程序確認它可以作出合理的評量結果。為此目的，應選定若干合適的水利防災案例，如基隆河截彎取直計畫、員山子分洪計畫或其他類似計畫，試行績效評量並將評量結果公開，且由相關學者專家組成驗證小組深入討論，確認其合理性及實用性之後，才進一步推廣給各實務單位應用。驗證小組員應包含一定比例的實務單位專家。

應用這樣一個評量系統的最關鍵部份是效益指標，指標值則由指標函數關係來決定，而指標函數關係是隨受災區域的自然、社經及環境生態條件而變的，因此應用此系統的第一件要緊的事情就是這個指標函數關係的建立，而其所需資料庫的建置更是其中必須優先完成的工作。由於資料庫及指標函數關係都是隨著地區而變，建置的工作量相當大且費時，因此在推廣應用的過程宜先將水災方面逐步推進，俟其完備之後，再依序逐步擴展到旱災及環災方面。

回饋改進

在應用評量系統執行評量作業的過程中必然會遭遇到若干困難，並發現不少的缺點。這些困難和缺點將是未來改進此一系統的重要依據。因此各應用單位應將這些寶貴的經驗定期回饋給系統開發者，以便作為改進之用。

結語

1. 廣義的水利防災工作涵蓋水災、旱災及環災三個面向；雖然目前水災防治較受重視，但長遠而言，旱災及環災防治亦不可忽視。
2. 水利防災工作的具體貢獻常不為社會大眾所瞭解，或甚至有所誤解；建立有效的水利防災價值與績效評量系統將有助於向社會溝通釋疑、強化為政策辯護之基礎、導正防災資源之配置。
3. 水利防災價值指標可慮採用六大項，包括：減少死亡人數、減少受影響人數、降低經濟損失、降低基礎設施損壞與服務中斷損失、提升災害資訊可及性、以及降低水環境災害。
4. 評量系統主要包括成本與效益兩部份，後者需經由

指標細項篩選、指標函數關係建立、資料庫建置、效益年化、效益正規化、檢定與驗證等過程，工作量甚為龐大，須有適當資源投入。

5. 績效評量系統之建置宜考慮優先應用於水災方面的區域排水及河川防洪的計畫或方案；有成之後，再逐步擴大至淤砂治理、海岸防護、旱災防備、水環境改善等方面。

參考文獻

1. 李欣輯、陳怡臻、郭致君（2013），臺灣颱風災損評估系統之建置與應用，農工學報，第 59 卷，第 4 期。
2. 葉錦勳（2009），台灣地震損失評估的研發與地震早期損失評估暨風險評估應用，土木水利雙月刊，第 36 卷，第 4 期。
3. 顏清連、林翠儀、李文正（2014），淺談臺灣防災科技發展與挑戰，土木水利雙月刊，第 41 卷，第 1 期。
4. 顏清連（2014），莫拉克颱風災後保育治理思維—水利/水害觀點，土木水利雙月刊，第 41 卷，第 4 期。
5. United Nations, 2015, Sendai Framework for Disaster Reduction 2015-2030, UNISDR, Office for Disaster Reduction.
6. 顏清連（2015），論永續水利事業，土木水利雙月刊，第 42 卷，第 3 期。
7. Liu, K. F., Li, H. C. & Hsu, Y. C., (2009), Debris Flow Hazard Assessment with Numerical Simulation, Natural Hazards, Vol. 49, No.1.
8. 薛立敏、王素庭（1987），台灣地區人口「生命價值」之評估—工資風險貼水法之理論與實証，經濟專論，108 輯。

國際救援行動報導

近年因緬甸羅興亞人流離到孟加拉引起國際輿論，緬甸政府規劃在緬、孟邊界處興建短期組合屋，讓羅興亞人回到緬甸居住，進而讓羅興亞人藉自己的力量成立村落。Myanmar Engineering Society (MES) 接受緬甸政府要求，將協助此一建村計畫，唯礙於實質能力，MES 向 IEET (中華工程教育學會) 及 CICHE 提出贊助請求。

基於 CICHE 和 MES 友好關係，且於 2017 年簽訂 MOU，應給予支持。衡量學會的財務狀況，並與 IEET 研商，經內政部報核後，贊助額度為 IEET 及 CICHE 各捐助 5,000 美元，以行動表達 CICHE 對緬甸國際事件的救援。





水利防災中水生生態系統面臨的挑戰

施上粟／國立臺灣大學土木工程學系 助理教授

水利防災對時空間水文條件極度不均的台灣而言，一直都是重要防災課題及艱鉅的挑戰，面對氣候變遷可能加深危害度、擴大暴露度而增加水利防災風險，如何強化整體水環境體質變的刻不容緩。本文透過重點文獻回顧及部分實際案例數據，嘗試論述水利防災中水生生態系統可能面臨的挑戰，並由流域治理、分區管理、生態防減災的角度，嘗試描繪未來因應對策。本文也點出台灣在這方面，尚有理論知識不足、制度不健全、資料不齊全的諸多問題需要盡快克服，才有機會趕上國際防災趨勢，建構台灣為宜居而具備永續發展條件的生態文明社會。

前言

台灣豐枯期的降雨差異大，主要降雨受豐水期颱風影響，其他時間則為枯水期，河川中通常會有比較少的流量，大部分是豐水期時蓄積於上游集水區表土下的地下水所流出，常可見河床露出水面。由於台灣的河流短、地勢陡，降雨大都直接奔流入海，故需要許多的水庫及攔河堰將水攔住，以保住可加以運用的水資源。因應社會發展的需求，工商業發展皆需要大量水資源，加上豐枯期降雨差異持續擴大，使水資源調配更形困難，此趨勢有可能進一步壓縮生態系統所需的環境基礎流量。本文主要探討水庫等重要水利設施，其在水資源及防災功能維護及強化過程中，對水生生態系統可能產生的衝擊，並以水生生態系統服務的角度討論其可能提供的相關防減災機會及挑戰。

流域治理及分區管理概念

流域治理並非新鮮名詞，已有許多報告或論文論述全流域治理的好處，包括符合河川連動理論（river continuum concept; Vannote *et al.*, 1980）、洪水脈衝理論（flood pulse concept; Junk *et al.*, 1989），河川連動系統越健康越有助於整體水圈永續支持人類社會需求及成長，近代與河川復育高度相關的河川廊道（river corridor）理論建構及實踐應用，基本上也是受到這

兩個理論的啟發。雖然許多不同學科領域的科學數據都支持或證明流域思維的重要性，以避免頭痛醫頭、腳痛醫腳的窘況，但實際以全流域概念進行治理、管理者並不多見，這與技術層面及非技術層面的問題都有關，技術層面包括科學知識、工程技術、管理知識及技術的完備與否，非技術層面包括各級政府權責關係複雜、法規疊沓、制度不完善、民意代表或環保團體主張等。顏清連（2015）認為維持林地、農地、水庫、湖泊及海岸地區等河系連續性，對於營造地球環境的永續性至為重要，水的過度利用對生態環境已造成不可忽視的衝擊，未來應強化推動永續水資源及循環型社會概念，由水利設施功能維護與強化、跨流域水圈管理、親水文化重建等切入，在技術、制度及法規層面建立相關的配套措施，實務管理上可再將土地利用分區，包括：都會產業區、農林生產區、生態保護區等。由此可知，流域治理及分區管理概念隱含對「水系統」及「生態系統」的永續發展（sustainable development）的期待。一般公認近代永續發展逐步落實主要來自 Brundtland Report（1987）提出的「Our Common Future」的要求，其中第二章「Towards Sustainable Development」可作為最佳註腳：「Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs」。

若以水庫做為流域縱向區隔的對象，水庫上游一般土地型態為森林地或農業用地為主，森林地範圍一般被劃設為集水區保護區，或依據文化資產保存法劃設為自然保留區、依野生動物保育法劃設為野生動物保護區等，保護留區人為活動少、干擾低，農業用地則相對有較多的干擾，包括農藥、肥料的使用，這些有害物質或有機質會隨著降雨沖洩進入水庫，而降低水庫原水水質條件。國內學者曾針對武陵農場周遭七家灣溪及其支流高山溪集水區進行農業行為對生態系統影響的研究，該區域為台灣特有亞種且瀕危的台灣櫻花鉤吻鮭 (*Oncorhynchus masou formosanus*) 重要棲息地，但農業活動頻繁已造成該魚種族群數量及棲地品質受到影響 (Yu and Lin, 2009; Hsu *et al.*, 2010; Huang *et al.*, 2012)。至於水庫本身對水生生態系統的影響相當顯著，包括：改變自然的水文循環、改變渠道及洪水平原的生物及物理特性，並切割原本連續的河道，導致生態廊道中斷 (Yeager, 1995)，可能因而造成需要進行生殖洄游的魚類滅絕。一般而言，水庫、攔河堰等橫向構造物運作後，將攔住顆粒較大、含氧效果也較佳的砂石，使得其下游的河水含氧量降低，氧氣具有淨水功能，含氧量降低恐將使得水質變差，進一步威脅魚群的生存，而上游變細的底床質將降低攀爬型的魚類利用的機會，因為這些魚類需要刮食大岩石上的青苔做為食物來源。這些河相及底質的改變，也會導致有機質無法往下游傳遞，因而降低原有的棲地品質 (Poff *et al.*, 1997)。考量到河川復育的需要，美國已有超過 100 座的小型壩被成功拆除 (American Rivers, 1999)，更多的水壩正被考慮移除中 (Wood, 1999)，大部分的拆除案例顯示魚類洄游情形增加，河川變得更加自然。由此可知，水庫等橫向構造物在建造及運作之初，就已開始對生態系統產生衝擊，若水庫本身沒有魚道、環境基流量等生態補償措施 (若無法迴避，且不考慮縮小、減輕規模的情況下)，則對水生生態而言，其影響是長遠而深入的，有時甚至會造成某些水生物族群的完全滅絕，如早期在大漢溪及新店溪中悠游的台灣原生種洄游型香魚再不復見。

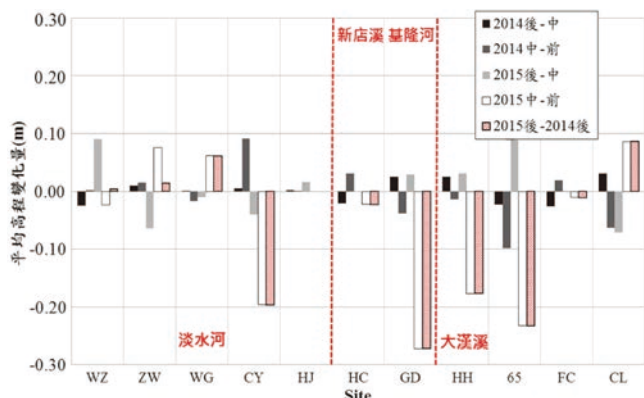
水庫排洪減淤對河川濕地生態衝擊

水庫運作數年後庫容會逐步降低，某些集水區產砂量大，庫容降低速度就更快，水庫庫容保全及集水區保育成為近年水利單位的主要關注重點。以石門水庫為例，近年來石門水庫面臨洪水挾帶大量泥砂進入

庫區，淤積嚴重，供水能力降低，如 2004 年艾利颱風造成庫容大幅下降，原水濁度也一直居高不下，影響民生甚鉅，水利署因而啟動了後續的搶救供水計畫，並促成 2006 年立法院通過「石門水庫及其集水區整治特別條例」。未來加上氣候變遷的不確定因素，可以預見豐枯降雨及洪流條件可能更佳極端化，有鑒於此，水利署近年已開始著手進行多項防淤工程，包括永久河道放水道改善工程、電廠防淤工程、後池放淤評估以及石門水庫防淤隧道規劃等。而南部的曾文溪及曾文水庫也有類似的情況，顏清連 (2014) 提及 2009 年莫拉克風災後，大量崩塌造成集水區產砂大幅增加，整體受災範圍從中部濁水河流域往南至高屏河流域再向東到知本河流域，興建水庫通砂設施以保全水庫庫容變得更加刻不容緩。

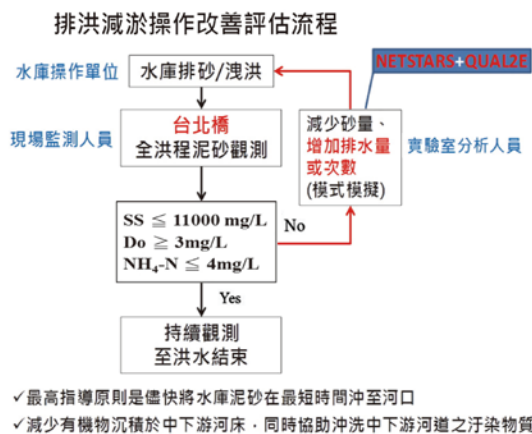
筆者曾於 2014 至 2015 年間協助水利署北區水資源局評估石門水庫排洪減淤操作對下游水生生態的影響程度，整體而言，對水域動物的影響多為短期效應，對於植生、地形地貌及棲地品質的影響則屬於長期效應 (林幸助、施上粟, 2015)。其中，淡水河魚類組成與數量會受到水庫洩洪的影響，但排砂對魚類組成影響不大；底棲無脊椎動物和文蛤數量較不受排洪影響，但會受到當次排砂量的影響；底棲與浮游藻類生物量會同時受到排洪與排砂影響而減少。另外，汛期時大量汗水輸入及水溫上升，導致水域優養化、藻類生物量增加，間接使得生產力上升；伴隨水流量增加，異生性陸源物質輸入增加、濁度升高，是呼吸率上升的主要原因，汛期中的颱風擾動及排洪操作，可助於降低或排除這些作用，提升淡水河生態功能，但若降雨量過大而導致水流量過大，再加上石門水庫的排砂操作，會減少藻類的生物量而降低系統碳代謝量，影響淡水河的生態功能；溶氧、氨氮為最重要的水質因子，當下游河道溶氧濃度低於 3 mg L^{-1} 、氨氮濃度高於 4 mg L^{-1} 時，生態功能將明顯受損。河道懸浮泥砂濃度全洪程監測結果表明，淡水河台北橋在 2015 年蘇迪勒颱風期間，監測到的最高泥砂濃度可達 $10,000 \text{ mg L}^{-1}$ 以上，這些泥砂中值粒徑約 $10 \mu\text{m}$ ，一般被歸類為沖洗載 (wash load)，因其不參與造床運動而常被忽略，但在對生態功能影響上卻扮演相當重要的角色，這是因為這些泥砂處於長期懸浮狀態，在下游河段受潮水推移往返不易出海，常造成河口潮間帶超過一個禮拜的混濁水體狀況 (林幸助、施上粟, 2015)；至於對下游潮間帶的濕地，兩年度的數據呈現濕地淤積

及底質細化的現象，推論長期將改變濕地條件，甚或有加速陸化的機會，而弱化濕地生態功能（圖 1）；至於大漢溪高灘地人工濕地在 2012 年蘇拉颱風及 2015 年蘇迪勒均造成洪水漫灘並沖毀部分濕地的災情，洪水夾帶的大量泥砂也隨著退水後留在人工濕地及周遭，造成極大的經營管理困擾。該研究也在台大水工試驗所進行烏魚濁度耐受性試驗（烏魚為大量死魚事件經常發現的主要魚種），研究發現：24 小時的半致死濃度（LC50）約為 129,000 mg L⁻¹（圖 2），對懸浮顆粒零死亡濃度的最高耐受值為連續 5 天不高於 11,000 mg L⁻¹（郭家暢等，2016）；由此可知，高懸浮顆粒濃度的確會造成烏魚死亡，雖然這樣的高濃度在現地不易複製及維持，但仍應避免現地出現如此高的泥砂濃度，以降低水生物死亡風險。根據這些研究結果，該計畫提出水庫排洪減淤減輕衝擊的相關策略（圖 3），但能否融入現有的水庫操作規線，仍有待考驗。



備註：挖仔尾 (WZ)、竹圍 (ZW)、重陽橋 (CY)、華江濕地 (HG)、華中橋 (HC)、新海橋 (HH)、臺 65 線橋 (65)、浮洲橋 (FC)、城林橋 (CL)、五股溼地 (WG)、關渡 (GD)

圖 1 2014~2015 年間石門水庫排洪減淤前後下游潮間帶溼地平均高程差變化 (林幸助、施上粟, 2015)



✓最高指導原則是儘快將水庫泥砂在最短時間沖至河口
 ✓減少有機物沉積於中下游河床，同時協助沖洗中下游河道之汙染物質

圖 2 水庫排洪減淤對下游河道生態功能影響及改善流程 (林幸助、施上粟, 2015)

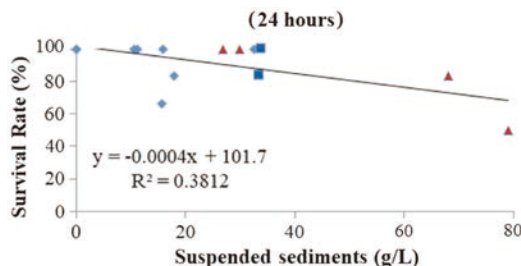


圖 3 烏魚泥砂濃度耐受性試驗結果 (郭家暢等, 2016)

河川生態疏浚的需求

前述提及，水庫庫容的保全是極為重要的水利工作，因此排洪減淤操作勢難避免，無論是庫區內或集水區來沙往下游排放勢必增加下游局部區域的淤積，這將產生另外的困擾及災害，包括下游河道淤積造成的通洪斷面縮減，及濕地陸化問題等。以淡水河為例，現況河道處於淤積狀態，未來再加上石門水庫庫容保全的汛期排砂需求，有必要經常性進行河道疏浚及植生整理，以保持足夠的通洪斷面，及適度維持河道粗糙度，因應氣候變遷之防洪需求，此項工作尤其重要及迫切。然根據淡水河系河川情勢調查結果及相關生態調查報告指出，淡水河系蘊藏豐富的生態資源，與 10 年前相比，無論特有生物種數、保育類物種數量、河川健康程度均有明顯改善，並有多處生態敏感區需予保育（施上粟等，2017），故進行河道整理、疏浚或植生檢討等工作時，應嚴謹對待，並思考「生態疏浚」的可行性，相關之清疏技術也需要因地制宜研發評估。「生態疏浚」是指疏浚作業需考量到當地生態功能，避免因河道整理等疏浚作業破壞重要棲地結構或生態功能的河道疏浚方法。根據日本福留脩文 (2011) 的觀察，自然河川中上游多有潭 (pool)、瀨 (riffle)、流 (run)、沙洲 (sand bar) 等重要棲地結構，其對維持河道輸砂平衡，及水棲昆蟲、棲地類型魚類的利用均提供很重要的功能，有必要盡力予以保育。

下游濕地也有許多重要生態功能，進行高灘地清疏時也要留意。筆者曾在 2010 年研究二重疏洪道的相關水理及生態條件，起因是疏洪道已運作超過 40 年，我們對其是否仍具有原設計的保護能力存有懷疑，這是因為基於以下的瞭解：淡水河系自 1990 年全面禁採砂石後，河床及高灘地逐年回淤升高，河川的地形地貌已然不同，部分水域地帶因河床回淤及二次流效應而逐漸形

成濕地 (Shih *et al.*, 2011)，而這些濕地的產生也進一步促使先趨性水生植物進入 (如蘆葦、荳荳鹹草、紅樹林)，進而改變了河床通洪斷面及粗糙度，這些環境的改變我們猜測將可能弱化台北防洪系統的保護能力。筆者的研究結果的確顯示二重疏洪道通洪能力 (6,300 m³/s) 已明顯低於原設計通洪量 (9,200 m³/s) 甚多，而台北橋的洪水位也已非常接近出水高程，敏感度分析則發現影響疏洪道分洪能力之環境因子由大至小排序為：河道糙度、河道高程、河口水位、洪水流量、橋梁數目 (圖 4)，基於提高疏洪道分洪能力的需求，該研究建議可適度進行入口堰前庭的疏浚作業，包括灘地降挖及植生移除 (Shih *et al.*, 2014)。

前述論及粗糙度是影響疏洪道分洪能力及淡水河洪水水位的主因，降低二重疏洪道的河道粗糙度有相當明顯的效果，但疏洪道下游有一塊特殊的蘆葦濕地，當時發現在過去僅於日本及香港發現的四斑細蟪族群 (*Mortonagrion hirosei Asahina*)，若將這些蘆葦移除當然會有相當的減糙效果，但卻會因此破壞四斑細蟪的棲地，因此又進一步分析疏洪道上、中、下游的減糙效果，結果發現上游的減糙效果最佳、中游次之、下游並不明顯，因此當時建議下游濕地應予保留，一方面是此處為生態敏感區，二方面則是清疏此處對防洪的幫助不

大 (圖 5)。筆者後來又針對淡水河位於疏洪道入口堰的濕地，評估疏浚作業可能引發的生態效應 (施上粟等，2016)，該區域位於大漢溪、新店溪匯入淡水河處，屬淡水河左岸、二重疏洪道入口堰外，對岸為華江溼地，此區通稱「江子翠」，屬「大漢、新店國家重要溼地」的範疇；該區因兩河交匯後河幅增加、流速降低，加上下游的台北橋斷面窄縮的迴水效應，使本區形成天然泥砂淤積區；根據 Li *et al.*, (2009) 調查，該區每年有大量冬候鳥利用，尤其以小水鴨 (*Anas crecca*) 為主要鳥種，最大數量時可達鳥類總數 90% 以上，2000 年在江子翠地區更高達 10,000 隻，Hsu *et al.*, (2014) 調查小水鴨棲地最適地表高程在高潮位時呈現水域型態、低潮位時則為灘地型態；由此可推論，此泥砂淤積效應一方面不利小水鴨利用，一方面也會改變淡水河流向而影響疏洪道的分洪功能。筆者的研究顯示，疏洪道前庭降挖可同時提高疏洪道分洪量與小水鴨棲地適合度 (圖 6)，顯示防洪與生態保育間有合作空間，可作為類似之都市型河川，在進行河川環境規劃、營造及管理時的參考 (施上粟等人，2016)。新北市府依此作為該區疏浚及小水鴨棲地維護的重要參考依據，棲地營造之初，小水鴨利用率由 20% 提高到將近 80% (施上粟等人，2012)，可見良好的疏浚規劃有機會作為棲地營造工程。

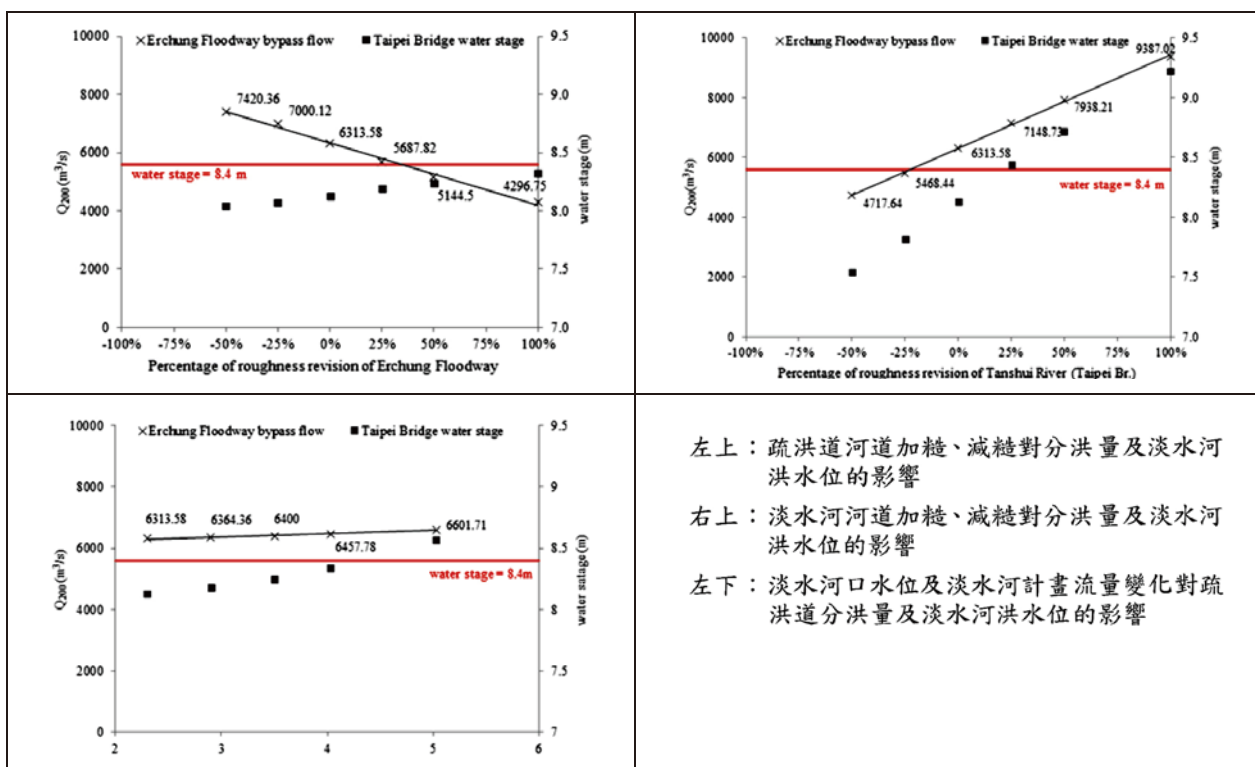


圖 4 二重疏洪道通洪能力分析環境因子敏感度分析結果 (修改自:Shih *et al.*, 2014)

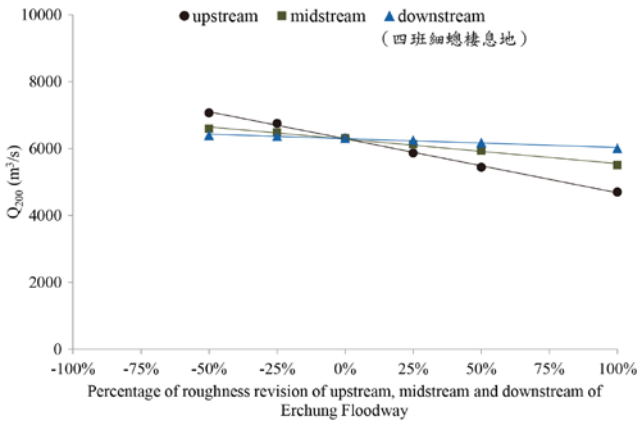


圖 5 二重疏洪道上、中、下游河道減糙對防洪保護效果結果 (修改自: Shih *et al.*, 2014)

內外水聯合運用及跨流域水圈管理

台灣的降雨特色是時間空間上的分佈不均，加上河川坡陡流急，水資源及防洪等水利防災需求常難兩全，水庫、攔河堰等水利構造物需扮演重要的角色，前已提及水庫、攔河堰等橫向構造物對水生生態系統有相當程度的影響，因此常有環保團體要求水庫管理單位應釋放一定的流量以維持基本的生態功能（國內國外皆然），不幸的是，水庫的操作規線是以水資源、防洪、發電為主，欲加上生態考量實空間有限，在實務操作上難以落實。若要在既有水庫結構物加裝取水工

作為釋放河川環境基流量之用，不但可能影響水庫結構安全、也很難符滿足經濟益本比的要求。

環境流量 (environmental flow) 是指「維持基本河川生態系統所需的水量 (water quantity)」，生態系統一般有季節的明顯差異性，因此更嚴謹的環境流量定義為「維持基本河川生態系統所需的流態 (flow regime)」，國際間近 10 年有越來越多研究開始探討永續管理水資源，並將與人類居住環境健康程度習習相關的環境基流量納入整體水資源體系中加以考慮 (Alcazar and Palau, 2010; Arthington *et al.*, 2006; Pahl-Wostl *et al.*, 2013)，但台灣在這方面的投入仍有相當的努力空間。筆者認為「內水外水聯合管理運用」是值得探討的方向，亦即豐水期時都市防洪減災過程中，經由適當的儲留系統有機會產生新興水資源，提供枯水期時河川環境基流量之用，對保全水庫原有水資源功能，及提升下游河川及濕地生態功能將會有顯著效果。若城市防洪減災於豐水期時所產生之新興水資源 (內水) 能妥善貯留，部分並應用於改善枯水期河川環境基流量及河川水質 (外水)，預期可同時滿足水利防洪及生態保育需求，對城市的韌性及健康也有助益，可謂一舉數得。另外，在內水與外水的聯合運用

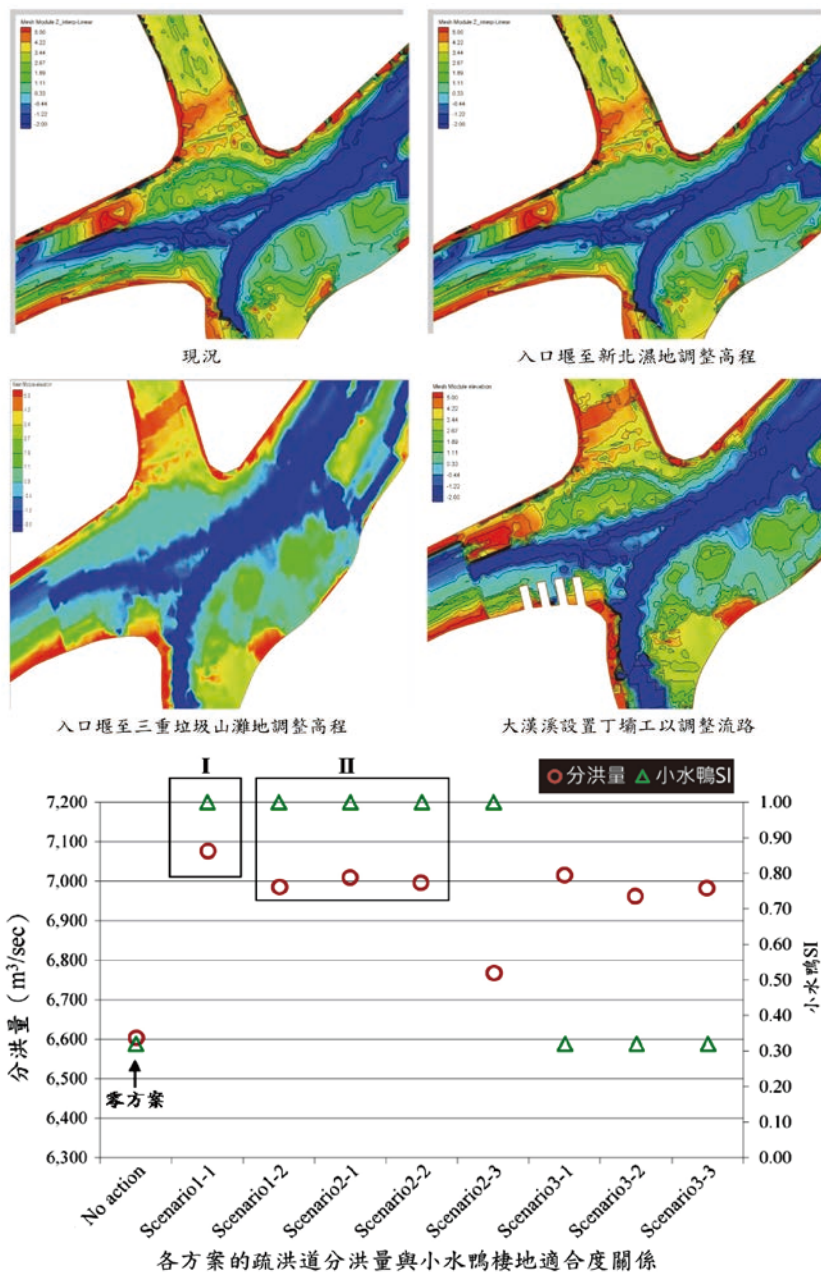


圖 6 新北濕地降挖及丁壩工改善前後流場、分洪量及小水鴨棲地適合度變化 (施上粟等, 2016)

時會遇到內水排入外水的過程，過程中牽涉到相關水理及水質的機制及理論知識，可進一步與高灘地上的人工濕地（constructed wetlands; CWs）進行整合利用，CWs 可作為中間過渡單元，內水通過這個過渡單元預期將會提高相當的水質標準（Shih *et al.*, 2017），而達到高於放流水的標準，對河川生態的保育很有助益，這也有助於增加高灘地上的生物多樣性的經營（Hsu *et al.*, 2011），降低因上游水庫蓄水操作，造成下游河川高灘地上的河濱濕地生態連結性功能的弱化（Karim *et al.*, 2015）。至於內水、外水的聯合運用能否將其擴大至跨流域、跨領域之水圈管理範疇？現階段是個挑戰，但也是個未來的方向。

也是個未來的方向。

水生生態系統服務及防減災功能

若將上述的水庫問題擴及至更大的水利防災戰略層面，則水生生態系統所能提供的相關服務功能，及釐清其在防減災方面對人類社會的服務價值是刻不容緩的課題。生態系服務是生態系結構與功能，以直接及間接的方式提供人類社會的福祉，使人類社會直接感受到生態系無法貨幣化的價值（Müller and Burkhard, 2012）。至今已有不少探討生態系服務或自然資本的研究，其結果皆導向於地景及棲地物理及化學特性會直接或間接影響生態系之支持服務，成為決定自然資本的基礎（Millennium Ecosystem Assessment, 2005）。然而，對於地景及棲地改變，或「支持」服務與其他三類別生態系服務（「供給」、「調節」與「文化」服務）間的交互作用，目前所知仍甚少（Kremen and Ostfeld, 2005）。而這些生態系統功能對人類所提供的服務有時必須以權衡（tradeoff）的觀念進行積極有效的管理，以使服務功能達到最佳化（Shih *et al.*, 2015）。

近數十年，保護和改善生態系統以降低災害風險的重要性開始引起學術社群及聯合國相關組織的關注。面對氣候變遷對人類社會帶來的威脅，Mortimore *et al.*, (2009) 認為需以生態系統防減災概念

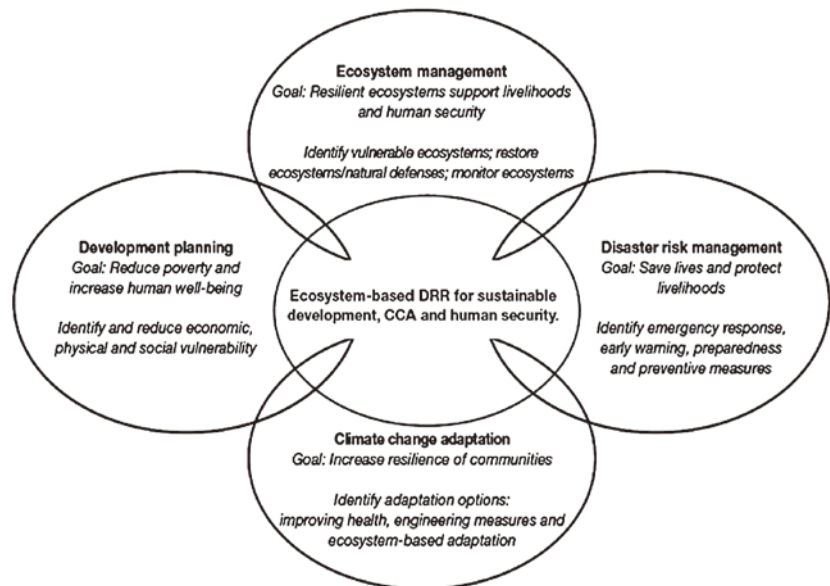


圖 7 生態系統防減災 Eco-DRR 概念圖 (Mortimore *et al.*, 2009)

（Ecosystem-based disaster risk reduction），整合「生態系統管理」（ecosystem management）、「開發計畫」（development planning）、「災害風險管理」（disaster risk management）、「氣候變遷調適」（climate change adaptation）（圖 7）。2015 年第三屆聯合國防災大會宣布推動「生態系統防減災」概念，強調應積極維護生態系的健全，提升生態系統服務的品質，並利用生態系統服務中災害調節的供能，達到防減災及人類永續發展的目標（張皓雲，2015）。根據聯合國氣候變遷小組 IPCC 在 2012 年發佈的風險定義，風險 = 危害度 × 暴露度 × 脆弱度，也就是「風險」同時與危害度、暴露度、脆弱度三種因子成正比關係，就本文探討的主題而言，台灣水利防災中水生生態系統所面臨的風險，尚有許多數據需要加以調查及量化分析，如：水庫排砂對河川生態或濕地生態的危害度為何？這些生態系統的脆弱度高還是低？以及這些水生生態系統有否可能迴避工程衝擊？或透過縮小、減輕工程規模，而降低其暴露度？

結論及建議

傳統水利防災主要著重在人類的安全防護及生活、生存的維持，而極少碰觸生態方面的需求，因應前瞻計畫水環境建設所研擬的「水與發展」、「水與安全」、「水與環境」三大主軸，未來應積極規劃及落實

「永續水利防災」，並深入瞭解生態系統在整體水利防災所能扮演的角色及對人類福祉提供的服務價值。對水利事業的經營而言，若要符合永續理念，則流域中的空間及水質水量管理極為重要，應以全流域的治理角度進行規劃，根據使用目的不同進行分區劃設，並以管理手段及相關法規加以落實，若牽涉到相關的防災工程，則應落實這些工程的生態檢核作業。對於無法進行通案或廣泛性探討的案例，則需以個案方式進行通盤檢討，並將生態衝擊的迴避、縮小、減輕、補償概念融入，以企求未來的台灣水環境真正邁向永續發展的新境界。

參考文獻

- 林幸助、施上粟 (2015)，石門水庫排洪減淤操作對下游河道生態影響及改善方案研究，經濟部水利署北區水資源局委託研究。
- 施上粟、陳炳宏、歐陽慧濤 (2016)，新北濕地小水鴨棲地保育與防洪需求競合探討，農工學報 62(1)，1-11。
- 施上粟、胡通哲、任秀慧 (2017)，淡水河水系河川情勢調查 (3/3)，經濟部水利署第十河川局委託研究。
- 施上粟、黃守忠、陳章波 (2012)，淡水河藍色公路 (含自行車景觀橋) 沿線生態維護調查與復育計畫，新北市政府水利局委託辦理。
- 郭家暢、林幸助、黃國文、施上粟、任秀慧 (2016)，懸浮固體濃度對烏魚 (*Mugil cephalus*) 存活率之影響，2016 動物行為暨生態研討會，中興大學，台中。
- 張皓雲 (2015)，臺北市以生態系為基礎之災害風險減緩社區評估指標建立之研究，國立臺北科技大學建築系建築城鄉設計碩士論文。
- 顏清連 (2015)，論永續水利事業，土木水利 42(3)，6-11。
- 顏清連 (2014)，莫拉克颱風災後國土保育治理思維－水利／水害觀點，土木水利 41(4)，6-12。
- 福留脩文 (2011)，治水と環境の両立を目指した川づくりの技術的考え方とその適用生に関する研究，中央大學博士論文。
- Alcazar, J. and Palau, A., 2010, Establishing environmental flow regimes in a Mediterranean watershed based, *Journal of Hydrology*, 388, 41-51.
- American Rivers, 1999, Friends of the Earth, and Trout Unlimited, Dam removal success stories: Restoring rivers through selective removal of dams that don't make sense, American Rivers, Friends of the Earth, and Trout Unlimited, Washington, DC, 115 p.
- Arthington, A.H., Bunn, S.E., Poff, N.L., and Naiman, R.J., 2006, The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems, *Ecological Applications*, 16(4), 2006, pp. 1311-1318.
- Pahl-Wostl, C., Arthington, A., Bogardi, J., Bunn, S.E., Hoff, H., Lebel, L., Nikitina, E., Palmer, M., Poff, L.N., Richards, K., Schlueter, M., Schulze, R., St-Hilaire, A., Tharme, R., Tockner, K., and Tsegai, D., 2013, Environmental flows and water governance- managing sustainable water uses, *Environmental Sustainability*, 5, 341-351.
- Hsu, C.B., Tzeng, C.S., Yeh, C.H., Kuan, W.H., Kuo, M.H., and Lin, H.J., 2010, Habitat use by the Formosan landlocked salmon *Oncorhynchus masou formosanus*, *Aquatic Biology* 1, 10(3), 227-239.
- Hsu, C.B., Hsieh, H.L., Yang, L., Wu, S.H., Chang, J.S., Hsiao, S.C., Su, H.C., Yeh, C.H., Ho, Y.S., and Lin, H.J., 2011, Biodiversity of constructed wetlands for wastewater treatment, *Ecological Engineering*, 37, 1533-1545.
- Huang, J.C., Lee, T.Y., Kao, S.J., Hsu, S.C., Lin, H.J., and Peng, T.R., 2012, Land use effect and hydrological control on nitrate yield in subtropical mountainous watersheds. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 1-16.
- Junk, W., Bayley, P.B., and Sparks, R.E., 1989, The flood pulse concept in river-floodplain systems, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 106, 110-127.
- Karim, F., Dutta, D., Marvanek, S., Petheram, C., Ticehurst, C., Lerat, J., Kim, S., and Yang, A., 2015, Assessing the impacts of climate change and dams on floodplain inundation and wetland connectivity in the wet-dry tropics of northern Australia, *Journal of Hydrology*, 522, 80-94.
- Kremen, C. and Ostfeld, R.S., 2005, A call to ecologists: measuring, analyzing, and managing ecosystem services, *Frontiers in Ecology and Environment*, 3, 540-548.
- Li, Z.W.D., Bloem, A., Delany, S., Martakis, G., and Quintero, J.O., 2009, Status of Waterbirds in Asia Results of the Asian Waterbird Census: 1987-2007, Wetlands International, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005, Millennium ecosystem assessment: Ecosystems and Human Well-being: Synthesis, Washington DC: Island Press.
- Mortimore, M., Anderson, S., Cotula, L., Davies, J., Facer, K., Hesse, C., Morton, J., Nyangena, W., Skinner, J., and Wolfangel, C., 2009, Dryland opportunities: A new paradigm for people, ecosystems and development. IUCN, IIED and UNDP/DDC.
- Müller, F. and Burkhard, B., 2012, The indicator side of ecosystem services, *Ecosystem Services*, 1, 26-30.
- Poff, N.L., Allan, J.D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E., and Stromberg, J.C., 1997, The natural flow regime. *Bioscience*, 47(11), 769-784.
- Shih, S.S., Hsieh, H.L., Chen, P.H., Chen, C.P., and Lin, H.J., 2015, Tradeoffs between reducing flood risks and storing carbon stocks in riverine mangroves, *Ocean & Coastal Management*, 105, 116-126.
- Shih, S.S., Yang, S.C., Hwang, G.W., Hsu, Y.M., and Lee, H.Y., 2011, Development of a salinity-secondary flow-approach model to predict mangrove spreading, *Ecological Engineering*, 37(8), 1174-1183.
- Shih, S.S., Yang, S.C., and Ouyang, H.T., 2014, Anthropogenic effects and climate change threats on the flood diversion of Erchung Floodway in Tanshui River, northern Taiwan, *Natural Hazards*, 73(3), 1733-1747.
- Shih, S.S., Zeng, Y.Q., Lee, H.Y., Otte, M.L., and Fang, W.T., 2017, Tracer Experiments and Hydraulic Performance Improvements in a Treatment Pond, *Water*, 9(2), 137.
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R., and Cushing, C.E., 1980, The river continuum concept, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37, 130-137.
- Wood, J., 1999, How to waste US\$8M, *International Water Power and Dam Construction*, 51(3), 17-18.
- Yeager, B. L., 1994, Impacts of reservoirs on the aquatic environment of regulated rivers, Tennessee Valley Authority, Water Resources, Aquatic Biology Department, Norris, Tennessee. TVA/WR/AB-93/1.
- Yu, S.F. and Lin, H.J., 2009, Effects of agriculture on the abundance and community structure of epilithic algae in mountain streams of subtropical Taiwan, *Botanical Studies*, 50, 73-87. 



水利工程規劃決策 評價概念探討

成本效益分析、風險分析架構及風險控管

游景雲／國立臺灣大學土木工程學系 副教授

王元亨／亞利桑那大學 博士生

楊智傑／以樂工程公司 工程師

台灣地區的水資源規劃已由過去傳統水資源開發規劃朝向整合性水資源經理方式辦理，因此，如何使未來水資源工程規劃方案更為周延，應對於現有水資源規劃方案經濟評估內容與架構進行探討。本文對於水利工程規劃決策時，對於規劃相關之評價概念進行探討，由成本效益分析之架構與精神，風險分析之概念，及風險管理之架構進行介紹。由於國家政策，目前各項相關規劃均積極展開，如何對於相關規劃合理評價均為水利從業人員相當棘手之工作，因此本文就各項層面之議題進行探討。針對成本估算、經濟效益評估方面，本文就其的基本內涵、架構、理論、工具、假設與作業流程等進行逐步討論。後續之風險識別分析部分，就其風險及不確定性之精神、數值分析方法、重要風險因子與流程等一一探討。並對於風險管理之措施、我國國內之內控制度、風險圖像概念及其運用進行介紹，並建議適用於國內之功能失效樣態與效應分析流程。藉此期望補足現行相關水利工程規劃中較為缺乏之面向，健全相關規劃作業，以利國計民生。

前言

台灣地區的水資源規劃已由過去傳統水資源開發規劃朝向整合性水資源經理方式辦理，因此，在現今社會環境下更需要考慮，如何使未來水資源工程規劃方案更為周延，應對於現有水資源規劃方案經濟評估內容與架構進行探討，規劃建置適當且合於趨勢之分析模式與方法。因此，本文其為就整體經濟分析之概念，並針對成本估算、經濟效益評估所需的基本內涵、架構、與作業流程等進行討論。此外也就規劃設計時如考量風險與不確定性之概念與工作方法，可能影響之因子，整體之主要目標包含風險及不確定性因子定義探討與資料彙整、風險及不確定性因子分析方法說明討論、提出規劃或設計階段，適時依據不確定性因子種類與其影響權重，如何採取一定合理統計模

式或方法，求得規劃設計風險與成本效益之關聯性，由所獲得之相關分析結果，擬定在不同成本效益與風險性下之策略或方案，提供決策者進行最終方案選擇之參考等進行說明。

成本效益分析

公共建設投資除帶動經濟成長外，也希望藉由基礎建設之改善，提升國民生活品質，公共建設因牽涉到國家資源投入與社會民眾福祉的影響，在資源有限情況下，有賴周延完整的經濟效益評估及財務規劃，以妥適分配國家資源，發揮公共建設計畫效益，達成經濟成長與社會發展目標。公共建設影響範疇涉及多層構面，因而其評估也必須針對不同構面進行可行性分析評估。計畫評估乃是任何投資決策之基礎，投資

決策需考量計畫的目的、執行能力、外在環境條件、衍生問題、風險與不確定性；而公共建設所涉構面更為複雜，計畫評估所應含括之可行性分析應包含七個構面：「市場可行性」、「技術與生產可行性」、「經濟可行性分析」、「財務可行性分析」、「政治可行性分析」、「環境可行性分析」與「管理可行性分析」。而我國政府所規定之公共建設計畫先期規劃作業尚納入「法律可行性」、「土地可行性」與初步財務規劃。應編製周延、完整之經濟效益評估及財務計畫，俾提升預算效益。

成本效益分析 (Benefit-Cost Analysis) 是屬於一種經濟面的系統分析方法，常被政府相關單位與計畫研究人員用來評估工程開發或政策規劃等公共計畫是否值得投資的決策工具。主要以社會整體的觀點來考慮、比較所有和計畫相關利弊得失，或可以將相關利弊得失思考成經濟成本和效益，衡量能否增進整體福利作為決定是否推動公共投資的準則。在此準則下，社會淨效益為正，公共投資即有推動之可行性。

實務上，成本效益分析的應用範圍相當廣泛，跨越公私部門各種領域的計畫；例如，交通建設、健康衛生、犯罪防治、教育訓練、資源管理以及環境保護等領域的計畫評估，相關分析常作為政策或投資進行之參考，除完整之成本效益分析外，類似之工具也包含經濟衝擊影響評估 (Economic Impact Analysis)，成本有效性分析 (cost-effectiveness) 等。

追溯成本效益分析的發展沿革，近代第一位正式提出公共工程建設成本效益分析方法者是十九世紀法國土木工程師暨經濟學家 Jules Dupuit，其後義大利社會科學家 Vilfredo Pareto 及 1940 年代英國經濟學家 Nicholas Kaldor 與 John Hicks 都進一步修正改進此方法，成本效益分析開始納入政府決策程序中。

有關成本效益分析在西方的應用情形，最早應用於公共建設係見諸於美國聯邦政府用來評估水資源計畫，提供政府決策上的之參考。1920 年末期的河川暨海港法 (River and Harbor Act of 1927 and 1928) 授權美國陸軍兵工團 (Army Corps of Engineers) 針對國境內主要河川的整治計畫進行成本分析，為後來的經濟性評估分析奠定初步的雛形。其後，1936 年的洪水控制法 (Flood Control Act of 1936)，授權農業部對洪水控制計畫應作成本效益分析，明文規定水利計畫的經濟可行性必須是「所有可能產生的效益大於成本」之準則。1946 年美

國聯邦河流委員會正式成立成本效益委員會，1952 年美國預算局鼓勵編製預算時應以成本效益分析為參考。至 1960 年代，美國政府將成本效益分析與預算程序聯結，構成設計計畫預算制度 (The Planning Programming Budgeting System, PPBS) 之相關作業要求，且其實施範圍亦由原來水利、港灣等公共工程建設計畫逐步擴展至國防、衛生與社會福利等支出。

1981 年，美國雷根總統首開先河，簽署的 12291 號行政命令 (Executive Order 12291) 規定美國各聯邦機關對所有新的管制都必須事先評估其成本與效益，始能決策，同時要求白宮的管理與預算辦公室 (Office of Management and Budget, OMB) 建立一個正式的評估程序，成本效益分析成為美國政府決策的重要工具。發展至今，成本效益方法廣為各國公共投資決策時所用，其他國家如歐盟、加拿大、澳洲與韓國等都有制定類似的成本效益分析手冊；國際組織包括世界銀行與聯合國評估開發中國家公共投資之決策工具亦以成本效益分析為主。

至於我國，成本效益分析方法的應用，主要規範於我國的預算與審計法規體系中，包含「預算法」、「行政院所屬各機關中長程計畫編審要點」、「部審核處 準則」、「行政院所屬各機關主管法案報院審查應注意事項」、「稅式支出評估作業應注意事項」、「環境影響評估法」等相關法案；建置的指導手冊包括經濟部水利署 (2007)《水資源建設與管理環境成本評估手冊》、行政院經濟建設委員會 (2008)《公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊 (97 年版)》、經濟部水利署水利規劃試驗所 (2009)《防洪工程經濟效益評估之檢討修正總報告》及交通部運輸研究所 (2009)《交通設計計畫經濟效益評估作業之研究》、於環保署「環境政策與開發計畫成本效益分析作業參考手冊」(2012)。

經濟與財務效益分析之區別

進行成本效益評估時必須完整考慮所有成本效益項目，依據經濟部水利署 (2004)「水資源開發經濟分析與財務計畫評估手冊」，將水資源開發計畫之成本效益項目分為財務面、經濟面與環境面三種。財務面成本效益為水資源開發計畫本身所產生之會計成本與收益，也就是計畫內部產生的現金流出或流入；經濟面和環境面之成本效益皆為水資源開發計畫所產生之外部成本效益。

經濟面的成本效益為公共投資所產生的外部成本效益，為公共政策或投資對經濟體系產生的直接影響，也就是透過市場機制產生市場性的影響，例如對產業產值的影響，現有資本財的改變，私人財產的影響等，因此經濟面成本效益是對有市場性財貨或勞務的影響，可轉換為對產值、所得、就業等之影響。經濟面成本效益又可分為直接或間接的成本效益，直接經濟成本效益為公共投資直接產生之市場性財貨或勞務的影響，間接經濟成本效益是由直接經濟成本效益延伸出來的產業關聯效果。

環境面的成本效益也是一種外部性成本效益，即公共投資對環境體系所產生的影響，社會面及其他成本效益都是公共投資所產生之外部成本或效益。若以興建水庫為例，其會計成本為水壩的興建成本、人工成本、用地取得費用、設計作業費等，發電收入則為會計收入；社經效益為水庫興建後，因發電而引起的就業和所得之提升等，另外水庫的防洪、灌溉等效益也是社經效益的一種；環境成本則為河川斷流後對生態的影響等，一般而言，環境面影響多同時歸納為經濟面之成本效益一併討論。

在成本效益分析中，包含經濟效益分析與財務效益分析。經濟效益分析乃針對社會效益與社會成本之觀點進行，估計計畫對整體社會與民眾可能產生之效益，衡量其經濟合理性；而財務效益分析則針對營運收支之觀點進行，從財務角度對該計畫分析，衡量財務盈利能力。雖然財務與經濟效益分析均採成本效益之定量分析方法，同時亦均追求投資計畫之利潤極大化，但此兩種分析方法在定義成本與效益之內涵上有些差異，例如財務效益分析可從不同參與者角度分析財務之報酬率，如以民間投資者觀點、政府觀點等來分析其所關心的報酬率指標；經濟效益分析則從社會整體之觀點，估計該計畫對整體國民經濟或整個社會可產生之效益；另估算淨收入之差異，財務效益分析乃估算計畫參與者產生之財務淨效益，而經濟效益分析是估算計畫之社會淨效益。

經濟效益分析乃針對社會效益與社會成本之觀點進行，是從總體經濟與社會角度對項目分析，衡量項目的經濟合理性；而財務效益分析主要係針對營運收支之觀

點進行，是從財務角度對項目分析，衡量項目的財務盈利能力。意即此兩種分析方式主要是評價角度不同所導致的差異，因此其評估項目便有所不同，如成本效益只是在部門間移轉時，並未涉及社會資源使用，則不應納入經濟效益分析中，雖然財務面之分析項目較為固定，但經濟面之影響則牽涉廣泛，因各個案例不同而有所差異，在應用上產生相當之困難，是進行水資源開發計畫經濟效益分析與評估前必須注意與釐清之處，經濟概念與財務概念的差別如圖 1 所示。

經濟評估概念

公共建設之工程計畫作業程序大致分為規劃、設計及施工等三階段；重大之公共工程計畫則可依其程序目標及管考之需要，可進一步細分為先期規劃（可行性研究）、綜合規劃、基本設計（初步設計）、細部設計及施工等五階段。先期規劃部分會在細分為初步規劃或先期研究階段、以及可行性研究階段。然此階段均應提出可行性報告，包括技術可行性、市場可行性、法律可行性、土地可行性、經濟可行性、財務可行性、環境可行性、管理可行性及初步財務規劃等；部分規劃內容可簡略或合併。

經濟評價部分一般而言需於可行性評估階段提出，兩個面向包括正面的社會福利稱為經濟效益，付出的資源或是代價稱為經濟成本。成本效益分析乃在衡量政策或是規劃方案對社會所形成的所有成本和所有利益，其中亦包括了難用貨幣的成本和利益加以衡量之各種結果。簡單而言，成本與效益的計算，第一牽涉到牽涉到服務或財貨數量上的變動，第二牽涉到其價格上的變動。然而價格與數量均會相互影響，透

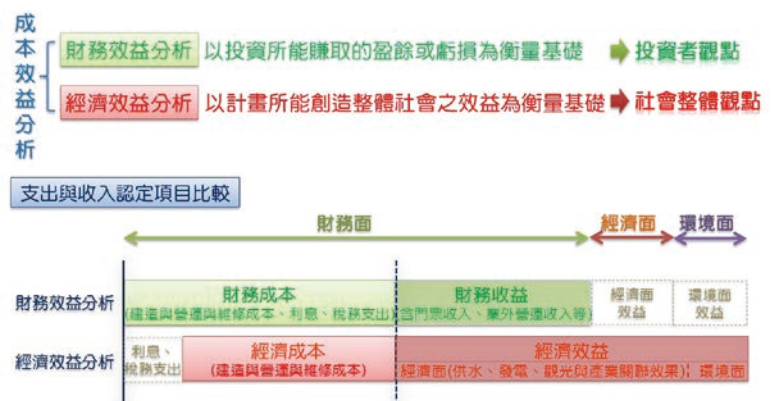


圖 1 財務效益分析與經濟效益分析之差別

過供給需求來決定，供給和需求的經濟學模型被應用作解釋市場均衡價格和均衡產量，求或者供給價格分別跟消費者的需求量和生產者的供給量相關，形成市場兩種力量決定價格和產量的均衡。

公共投資一般影響到供給曲線，主要為牽涉到財貨或服務增加或成本的減少，而公共政策則有可能影響到需求曲線或供給曲線，例如透過政策工具如稅賦補助等，來影響需求面或增加面。當執行相關公共投資或政策時，造成市場的變動即造成相關的效益或成本變動。在效益面計算的，為經濟學上所稱的社會總剩餘 (social surplus) 的增加，同時包含消費者剩餘 (consumer surplus) 與生產者剩餘 (surplus)，在外部性已經被合理考慮的條件下，社會剩餘可以當作是社會福利的一個計算參考，如圖 2 所示。消費者剩餘是指購買者的支付意願減去購買者的實際支付量，消費者剩餘可考慮為的淨收益，是指買者的支付意願減去買者的實際支付量，則為消費者從參與市場活動中得到的利益。生產者剩餘則為出售一種物品或服務得到的價格減去生產者的成本，由於生產要素、產品的供給價格與當前市場價格之間存在差異而給生產者帶來的額外收益，也是生產者於市場交易中實際獲得的金額與其願意接受的最小金額之間的差額。

社會剩餘或是經濟剩餘則指消費者剩餘和生產者剩餘的總和，可以衡量社會的經濟福利，也是一般成本效益所計算的經濟效益。因此，當政府無論進行公共投資建設計畫或執行相關政策時，會造成經濟活動之改變，如圖 2 所示，當相關作為影響到供需平衡時，會造成社會剩餘的改變，其增加的部分即所謂的

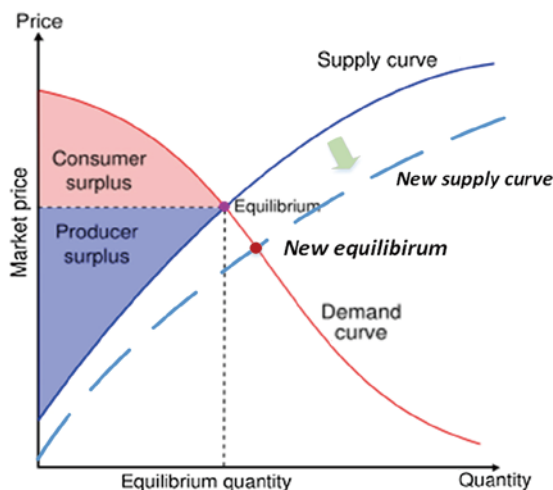


圖 2 供需均衡、消費者剩餘、生產者剩餘、以及社會剩餘於效益估計上之概念

方案效益。然由說明可知，效益同時涉及數量、價值的改變，再加上相關經濟面之統計資料常相當缺乏，因此常假設價格不變、而探討數量改變的影響，如價格彈性較低時勉強可以代表，由於公共投資多為針對基本需求，該假設或許可以接受，但與完整之效益計算是有誤差的。

分析上常把一項政策所需要的各種資源投入視為成本項目，並以機會成本 (opportunity costs) 的概念來看待，亦即觀察這些投入資源的最佳替代使用 (best alternative use) 之價值，舉例來說，如一項計畫需要一定的勞工投入，而勞工的主要來源來自失業人口，其機會成本則相對較低；但如果勞工來源是自勞力市場而造成其他人力的排擠，則需考慮其因為投入所造成無法參與其他建設工作的成本。

法規、政策 (或公共投資) 的成本與效益，理論上應透過足以反應社會成本或效益的價格評價。當市場價格合理，未受扭曲時，可以市場價格來評價；當市場價格受到扭曲，無法正確反應社會價值時，則需以影子價格 (shadow price) 衡量。當重大公共政策或大型公共投資計畫的推動，嚴重改變市場價格，不宜再採原市場價格，須以影子價格評價。扭曲原因主要為外部性存在，使得社會與私人成本、效益產生差異，市場價格不足以反應社會價值，例如教育、人才培訓、研究發展等活動具正外部性；汙染具負外部性。又如租稅課徵、價格管制、自然獨占等的存在，使得市場價格不能真正反應，當無市場價格時或市場價格扭曲時，在估計上常以願付價格 (Willingness-to-Pay, WTP) 來衡量。

經濟成本效益分析、經濟衝擊影響評估、成本有效性分析之差異

經濟學理論中，政策的評估通常採用成本效益分析為主，以整體社會的角度，分析評估各替選投資案或計畫，對社會所有產生的一切效益及成本予以估計分析。以福利經濟學為理論根源，社會福利函數為本。對所有經濟效果估計其數量，然後效益為各成員之願付貨幣值，成本則以資源之社會機會成本貨幣值計。將未來之效益與成本流量，依所選之折現率 (如社會時間偏好率) 折算為現值，並經所有成員之效益與成本加總後，比較各替選案之益本淨值、益本比等，對效益與執行需要之成本做評比後，以作為計畫選擇之依據。

然而除此之外，另外相關分析評估工具尚包含經濟衝擊影響評估、成本有效性分析等。成本有效性分析（cost-effectiveness analysis）計算政策的實施成本及欲評估的效益項目之效果，依據政策的總成本與單位效果之成本作為評估準則，選擇較低單位成本的政策，比較各種達到相同效益的選擇方案成本，並決定何者成本較低，而有較高之有效性。故在效益有貨幣化之困難時，可以因此不將效益全部貨幣化，由各替選案中，效益或效果相同時，僅計算其成本以作比較；或於成本相同時，僅計算其效果以作比較。其為成本效益分析之簡易版，其分析之負擔較低，且以其作比較之對象簡化單一，往往更易為民眾瞭解接受。

經濟衝擊影響分析（economic impact analysis, EIA）在與環境政策相關的決策分析架構中，「經濟影響分析」是一種用以了解政策計畫執行後，損失與受益於不同利益關係群體之間分配情形的分析方法。當成本效益分析以社會規劃者的角度說明，其所分析討論的福利變動面向，經濟衝擊影響分析 EIA 主要是考量不同利益關係群體的福利變動總和，經濟衝擊影響分析所涵蓋的分析範疇，主要是聚焦在政策計畫實施前後，直接或間接衍生自經濟體系中，相關市場交易活動所產生的損益分配變動情形。大致可分為「總體經濟面向」、「產業經濟面向」、「區域與社群面向」、及「其他利益相關群體面向」。

常見的總體經濟衡量變數包含如總國內生產毛額（Gross Domestic Product, GDP）、經濟成長率、就業率變動、物價波動、總勞動所得、總資本盈餘等。產業經濟面向則包含市場供需變化及就業變動影響等。因為公共政策或投資透過產品生產方法之改善、影響生產投入要素之使用、或改變最後生產總量的方式，進而對相關產業的生產供給面產生影響。對於就業市場勞動投入數量產生需求效果之影響，如因需求上升而帶來的人力需求提升，成本效果之影響如生產成本因特定政策而增加時；生產單位的總生產量將可能因而減少，進而也降低了勞動力的雇用；「要素移轉效果主要說明當生產單位為了因應政策規範而採用新式的生產或汙染防制技術時，所衍生而來的勞動需求變化效果等。

基本上經濟衝擊影響分析與經濟成本效益分析在基本分析觀點、分析面向並不相同，經濟成本效益分析著重的是淨效果的呈現，而經濟衝擊影響在在意但在這政策考量層面的衝擊效果，而非淨值。在經濟影

響衝擊上之分析、可以用投入產出模型、部分均衡模型、而成本效益分析則多需運用一般均衡模型。

投入產出模型、部分均衡模型及一般均衡模型

投入產出模型（input-output model）為諾貝爾經濟學獎獲得者 Leontief 在 20 世紀 30 年代首先提出的一種經濟計量分析方法，早期主要是用來研究美國的經濟結構和整體經濟活動影響。投入產出表的編製可供學者專家分析研究，為國家擬定經濟計劃之方針，並且也可提供企業投資方向之參考依據。投入產出表是以矩陣表示各產業間投入與產出的相互依存關係，也可同時表現出國民所得統計；而投入產出分析可以明確認識具有不同的生產需要及用途的特殊商品，亦能顯示各別商品需要的增加對經濟中其他部門的不同影響，反映一個經濟體系的內部結構。產出模型可於早期用來估算公共政策對其他部門影響常用的模型，但投入產出模型的不可替代和價格固定的假設和真實世界有所差距。以美國為例，較常被使用的投入產出模型分析軟體分別為 The Impact Analysis for Planning (IMPLAN)、The Regional Economic Models Inc. (REMI)、Regional Input-Output Model (RIMS II)。此三種軟體分別具有不同之架構，投入產出模型其搭配社會會計矩陣（Social Accounting Matrix, 簡稱 SAM），在輸入給定下條件下，可直接計算直接（direct）、間接（indirect）、以及引發（induced）之成本效益，作為工程計畫之效果評估分析，但其對於連動造成之市場平衡常無法進行探討致使無法進行完整淨效益之計算。

部分均衡模型（partial equilibrium model）主要用以描繪特定少數市場裡，生產者與消費者之間的互動關係。當特定投資或實施後，若受到直接及間接影響的產業或市場進行估算。可計算一般均衡模型（computable general equilibrium model, CGE）相對於部分均衡模型只考量少數的特定市場，CGE 模型能夠涵蓋經濟體系中多數的市場與部門，且能同時將這些相關市場或部門之間的連動關係納入分析。因此公共政策或開發計畫實施後，受影響的產業、市場或面向數量眾多、且互動關係複雜時，採用 CGE 模型較能全面性地涵蓋這些影響效果。舉例而言，以高鐵建設而言，其第一部份提供地面運輸的服務，因此增加效益，然而連動也造成航空或鐵路運輸的需求降低，在成本效益因需考慮整體淨效益，需要一併考慮各項各

產業部門彼此間與產業和最終需求部門間的關聯性。基本上僅有 CGE 模式可以達成完整分析。CGE 模型的分析在國際上的運用甚廣，在早期發展中，大都用來探討與國際貿易、租稅改革及經濟發展等有關的政策性議題經濟影響評估。世界銀行、各國政府等都常採用其來分析經濟之影響。舉凡環境、產業、能源、貿易、農業、氣候變遷等重大政策，皆可藉由一個理想的 CGE 模型來執行經濟影響的評估，並提供決策者可資參考的經濟資訊，雖然一般均衡經濟模型雖在經濟政策規劃上常作為決策分析工具，然其比較常被運用於大尺度及長時間之經濟政策分析，在條件限制下無法獲得較為細微尺度之差異，較不適合為單項工程之評估，且需要足夠經濟相關知識才能妥善運用。以目前單項工程建設計畫的相關成本效益分析而言，多簡化成價格數量上之估算，嚴格而言與完整之分析有所落差，在完整淨值上之仰賴特殊假設條件，而且估計會有誤差，然而其為現條件下不得已之簡化，在非全國性之影響下，情有可原且仍屬可以接受之範圍。

成本效益項目探討

關於效益與成本的分類，一般可將社會效益與成本分為直接的 (direct) 與間接的 (indirect)、有形的 (tangible) 與無形的 (intangible)。經濟面直接與間接效益，依據「公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊」之定義，直接效益係指在投入直接成本之後，產出直接財務與勞務之價值，對投資使用者直接產生影響之經濟效益。間接效益為計畫源生或衍生活動之結果所產生之價值，其屬間接影響，可歸屬於特定受影響團體之經濟效益。以公共建設而言，其投資耗費甚鉅，效益影響層面廣且時間久，因此可能對相關部門或區域發生連鎖效應，產生向前或向後的關聯效果，若此連鎖效應可產出效益，即為該公共建設之間接收益。

經濟面效益不論是直接或間接，同時可以分為有形與無形效益 (tangible or intangible benefit)，有形效益乃是可以以貨幣計量之效益，如農業或城市供水之市場價值、或減少洪水損壞的結構及損失。無形效益則是無法簡易的透過市場價值以貨幣為單位來衡量，但可以透過一些非市場方法予以估計，例如參訪一個保育區對於個人產生的休閒價值、或是對於該區生態保育的肯定 (現有價值、existence value)；該保護區域因保育而可能在未來對社會提供的價值 (選擇價值、option value)；或是該地區被保

護為人類後代運用之價值 (遺贈價值、bequest value)。對於不存有交易市場之經濟影響項目，則需透過非市場方法評估，不易直接由市場交易結果定價，或是市場交易價額無法充分反應其正確價值時，也需運用加入其無形價值之部分，以水價為例、在社會壓力與政府管制措施下，也難以充分反應供水成本、更遑論其實際價值。

成本部分類似，成本效益分析中之經濟性成本，係指公共建設之成本投入，包括直接成本和社會成本 (間接成本)，直接成本指為建立、維護、經營以及為提供使用或銷售目的，所必須實際支付的財貨和勞務價值，例如規劃設計費用、興建成本和營運及維修成本等，因此直接成本之估算係以預期將來必須實際支付之支出為主。直接成本可能因評估立場與目的性不同，對直接成本項目的計算會略為不同，比較國內主要公共建設相關評估手冊彙整如表 1 所示，水資源開發經濟效益評估的直接成本以「公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊 (97 年版)」所羅列的項目為主要採納準則，再配合實務上應用加以調整。就水資源開發規劃經濟效益分析的直接成本的涵蓋範圍包括規劃階段作業費用 (含先期規畫及綜合規劃)、建造成本 (工程經費)、營運及維修成本等。

經濟成本間接成本多屬環境面，財務成本分析時並未考慮，因此在經濟分析應編列納入水資源建設對環境產生之負面影響 (成本) 項目。環境面的成本是指公共政策或投資對環境體系所產生的負面影響，若因水資源建設或管理方案而改變環境或自然資源的服務流量，減少服務流量者稱為環境成本。以興建水庫為例環境成本為水庫建設對附近生態棲地之影響、地形地貌的改變及興建期間所造成的污染等。運及維修成本等，其也多屬於無形成本，缺乏市場價格，在

表 1 國內公共建設與水資源相關手冊之直接成本整理比較

	規劃階段作業費用	建造成本				營運及維修成本	重置成本	利息	社會成本
		設計階段作業費用	用地取得及拆遷補償費	直接工程成本	間接工程成本 (含環境監測、空氣污染防制費等)				
經建會《公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊 (97 年版)》	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
經濟部水利署《水資源開發經濟分析財務計畫評估手冊》	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
經濟部水利署《防洪工程經濟效益評估之檢討修正 (2/3)》	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
經濟部水利署《水再生利用經濟效益評估模式研究 (1/2)》	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
交通部《交通建設經濟效益評估手冊》	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
環保署《環境政策與開發計畫成本效益分析作業參考手冊》	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

價格與數量品質等之估計更為困難。

對於不同成本效益項目之評估方法，針對有形與無形效益兩大類別的適用方法有「市場價值評估法」包括生產函數法、災損函數法、替換（重置）成本法、預防性支出等方法。以及「非市場價值評估法」來進行估算，包括旅行成本法、特徵價格法、條件評估法、效益移轉法、單日價值法等。依據不同效益之項目，及對應之不同形式之願付價格，評價方法運用上也有所差異，各方法之優缺點及使用上之考量初步列於表 2。如前所言，水資源規劃案之主要效益來自於該計畫所能增加之財貨、服務的價值，也包括了成本、災害、損失減少的價值。在財貨、服務的價值上，理論上即是等同民眾願意放棄之其他財貨之最大量值以換取該項財貨服務而予以估計，在市場經濟，以貨幣作為量測之單位，即是民眾或社會願意以定量金錢所換取之商品或服務為基礎做估計，在經濟效益評估即是以願付價格（Willingness to pay）之概念來衡量。願付價格在估計或評估基本上可分成大至三大類、依其不同之特性而需要以不同方法估計之，分別為外顯願付價格（revealed willingness to pay）、替代願付價格（imputed willingness to pay）、調查願付價格（expressed willingness to pay）等來估計。

外顯願付價格是當計畫案提供之財貨、服務存在市場，則可以利用市場價格來估算其價值時，估計方法則會依據不同形式之市場價格來估計。替代願付價格則是計畫效益根據降低的成本、損失，或可取代方案的概念予以估計，此法並非直接根據民眾的購買意願估計經濟價值，而是假設民眾願意付出的代價等同於替代方案或是計畫可減少之成本及損失估計之。調查願付價格則是估計並不存在市場之價格，或沒有和其他具有市場的商品有強烈直接的關聯性，水資源即是很好的例子。此種情況下，無法直接從市場機制直接估計出願意付出多少價值來換取財貨服務，則需要透過情況的假設（如市容美化、缺水的情況）來對評估，抑或是用不同的選擇來權衡其效益以估算其價值。依據不同之效益項目，因其特性而需要依據不同之評估方法估計，本研究將整理以往之研究進行統整。

隨著不同之水資源或防洪規劃開發等相關計畫而言，無論是經濟成本或效益均因方案之不同而有所差異，需透過分析者依據本身對於計畫之瞭解，儘量完備周詳，過去針對相關水資源規劃初步歸納出水資源開發經濟效益分析的各項成本與效益範疇如圖 3 所示，經濟成本部分可由財務成本扣除內部轉移部份、

表 2 各種經濟效益評估方法比較

計價方式	方法	優點	缺點
外顯願付價格 (revealed willingness to pay)	市場價格法 (Market Price)	<ul style="list-style-type: none"> 價格、數量、花費資訊相對容易取得 使用實際觀察到的消費喜好數據 使用標準、公認且經濟的評價技術 	<ul style="list-style-type: none"> 因無市場機制無法估計生態等面向 會因季節變化或其他因素影響而無法用價格來反映真正的經濟價值 價格無法反映出對於環境上面的消費 受可用數據的條件所限制
	生產函數法 (Productivity)	<ul style="list-style-type: none"> 需要可以代表消費和生產的相關數據 使用標準、公認且經濟的評價技術 	<ul style="list-style-type: none"> 需要知道在生產過程中資源間的具體關係 此法難以適用於資源可用性改變的情況
	特徵價格法 (Hedonic Pricing)	<ul style="list-style-type: none"> 使用實際觀察到的消費者喜好數據 市場價格是良好指標 銷售數據易取得 	<ul style="list-style-type: none"> 被特徵價格所相關的環境效益所限制 對於環境方面只有特定人士的願付價格被考慮 在執行和解釋較為複雜 高度依賴相關統計專業知識
	旅行成本法 (Travel Cost)	<ul style="list-style-type: none"> 使用實際觀察到的消費者喜好數據 大量樣本將有助於現場調查 結果相對容易解釋 	<ul style="list-style-type: none"> 若消費者參訪多個景點將會造成分析複雜 旅行時間的機會成本難以估機 替代點的可用性將會影響結果 引用的測繪技術可能有誤 高度依賴相關統計專業知識
替代願付價格 (imputed willingness to pay)	災損趨避法 (Damage Costs Avoided)	<ul style="list-style-type: none"> 這些方法提供了概估之經濟指標 用於衡量產生效益之成本易於衡量其效益價值 	<ul style="list-style-type: none"> 這些方法假設損失是可恢復的，此假設需再進一步評估
	重置成本法 (Replacement Cost)	<ul style="list-style-type: none"> 這些需要較少之資源及數據 	<ul style="list-style-type: none"> 這些方法需要知道替代品與評價目標之間的關係 替代品不可能提供如環境、自然之效益，因此有可能被低估
	替代成本法 (Substitute Cost)	<ul style="list-style-type: none"> 適用於因數據過少而導致其他方法不能操作時之替代 	<ul style="list-style-type: none"> 只有在替代方案被大眾接受時這些方法才可行。
調查願付價格 (expressed willingness to pay)	條件評價法 (Contingent Valuation)	<ul style="list-style-type: none"> 不管商品有沒有在市場上流通皆可此法 	<ul style="list-style-type: none"> 對於此種方法是否適用於衡量人民對環境改善之願付價格具有爭議性
	權變選擇法 (Contingent Choice)	<ul style="list-style-type: none"> 通常使用於估計無法使用的商品 較適用於大眾容易了解且可單位化之商品或服務 	<ul style="list-style-type: none"> 會因為錯誤的假設強導受訪者了解真正的問題 存在對於受訪者於假設性的決定和真實決定之間的誤差 "願付價格"和"所願意放棄之環境"於理論上有所差異
效益轉移 (Benefit Transfers)		<ul style="list-style-type: none"> 典型的簡化的估算方式 可作為是否需要進一步進行其他更精細方法之考量 	<ul style="list-style-type: none"> 除非原參考點和預估點特性類似、政策轉移點相信，不然方法未必準確， 有時難以取得現有的資料 對於部分評價項目很難以瞭解對於是否有類似的研究 參考點的資料不全導致偏誤

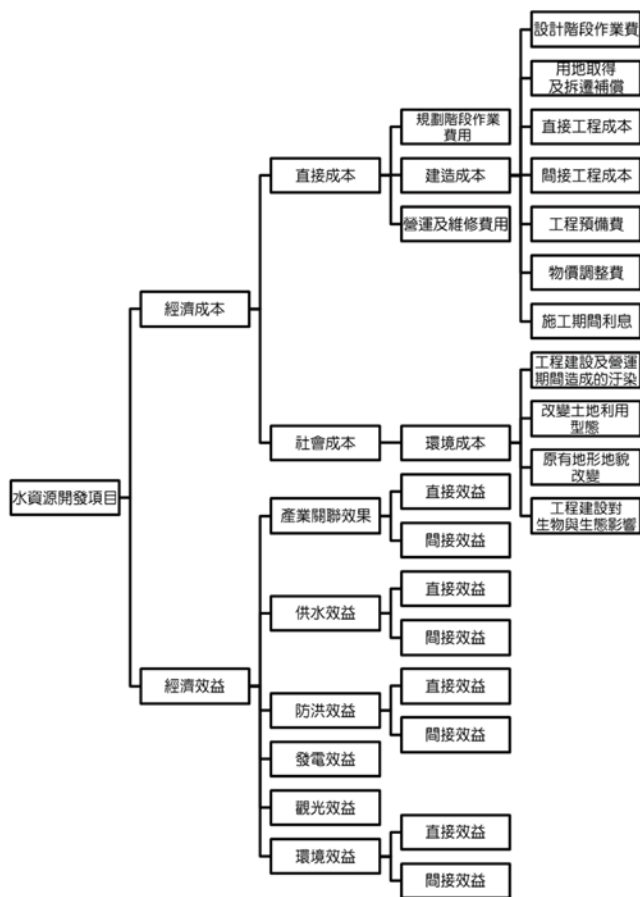


圖 3 水資源開發經濟效益評估之成本與效益範疇

在加上社會環境成本予以估計，經濟效益則大致分為常見之分為產業關聯效果、供水、觀光、防洪、發電這些項目，然其他各計畫特有之效益，應依據個案特性再與分析估計。

社會折現率

在確定水資源開發計畫的所有相關資訊後，需決定折現率與基礎年，逐年列出計畫年期內之各年期的成本與效益，再以折現率將每年成本效益計算為現值，最後將各年期成本現值或效益現值加總後，即為總成本現值與總效益現值。折現率與利率相似，但並非等同之概念。國內外文獻對社會折現率的探討，以「社會機會成本」及「社會時間偏好」為主要論點，社會機會成本認為若資金用於政府投資，即無法為民間部門使用，民間投資報酬率即為公共投資的社會機會成本，此一概念較為偏向現有資源分配，折現率較接近銀行或公債利率，以現在低利率的狀況，可採用較低數值；然而以社會時間偏好概念則為現在與未來

消費偏好的時間偏好率作為社會折現率，舉例而言，現在進行相關開發所需要的成本，與再過十年所開發的成本中間之差別，即為社會時間偏好的概念，以工程而言，由於社會認知或是公民意識的改變，造成對於服務與成本上時間上的偏好差別，則為社會時間偏好的概念。整體而言，目前折現率選擇仍未達成共識，通常使用政府借款利率，爰經濟效益分析之貼現率，亦可參酌中長期公債平均值利率訂定之。

行政院公共工程委員會研究報告（2012）建議公共工程的社會折現率為 6%，經濟部水利署水庫、人工湖可行性規劃報告多以內部資本報酬率 6% 作為折現率，前經建會（2004）建議水利建設的折現率為 6.91%，台經院（2012）參考國內中長期公債利率與相關文獻的建議折現率參考區間約為 5.2% ~ 5.5%，目前建議水利工程採 6% 的社會折現率做作為成本效益值的折現率，或考量銀行利率可以採較低之數值。然如需更精確或針對專案計畫使用之社會折現率，則建議主管機關或執行單位未來再統一公布或進一步計算。

經濟成本效益分析流程

過去作者於水利署「水資源規劃經濟效益分析與評估」計畫中參考國內公共建設與水資源開發相關計畫參考手冊之經濟效益評估流程，包含「公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊（97 年版）」、「水資源開發經濟分析與財務計畫評估手冊」、「水再生利用經濟效益評估模式研究（1/2）」、「環境政策與開發計畫成本效益分析作業參考手冊」以及「交通建設計畫經濟效益評估手冊」等，根據成本效益分析之概念與架構，提出經濟效益評估的流程步驟如圖 4 所示，分別包含

- 基本假設與參數設定：相關參數包括評估基礎年、評估期間、物價上漲率、社會折現率、經濟成長率、工資上漲率
- 界定所有成本效益範疇：進行的是開發計畫所牽涉的所有成本與效益範疇界定，規劃出經濟效益分析的各项成本與效益範疇，作為分析基礎。
- 認定水資源成本與效益項目：依據前步驟所界定的水資源開發經濟評估之成本與效益範疇，認定範疇內的各成本與效益項目。

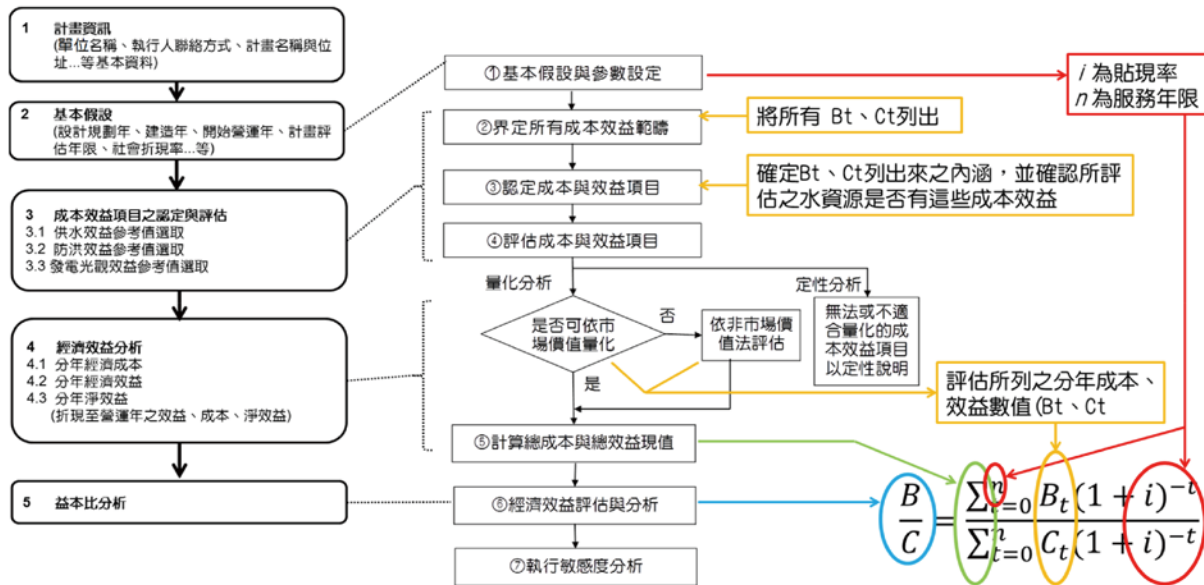


圖 4 水資源開發經濟持成本效益評估流程

- 評估水資源成本與效益項目：根據前步驟所認定的成本與效益項目，對各項目進行評估，決定該項目是否能予以量化，若是無法量化或不適合量化的項目，將以文字方式定性說明不可量化項目的分析結果；若是可量化分析的項目，將依該項目是否具市場價格決定評估方法，再進一步貨幣化價值。
- 步驟 5：計算總成本與總效益現值：根據評估出來的各成本與效益價值，彙整所有成本與效益項目，加以年化處理，因水資源開發建設的使用與效益往往具有長時間的影響，各期成本效益經過折現換算現值。
- 經濟效益評估結果分析：最後依據計算出的總成本與總效益現值，選定適當的評估準則，採用的經濟效益評估準則可包含經濟淨現值、經濟內部報酬率、經濟益本比等。
- 執行敏感度或風險分析：進行計畫經濟效益分析有許多重要參數具有相當的不確定性存在，而這些參數的設定攸關計畫的投資效益，故需針對影響計畫的重大參數進行敏感性分析，以了解參數變動對計畫效益的影響程度，並藉由評估這些變動擬定風險控管計畫。

風險分析架構探討

風險或不確定性一詞常用於描述不能明確掌握的結果或事件，兩者就其意義上仍有所差別，其中風險用來描述未知結果但從中能獲得不同結果或事件發生之可能性，用以推測合理結果。不確定性則適用在無

法將發生機率量化或不在所預期事件當中之情況。水利工程上可將不確定性歸納來自以下幾方面，包括如自然界物理特性、模式與其參數、觀測資料及系統運作等。自然界之不確定性源自於自然過程中本來就存在的亂度，例如降雨的發生時機及其規模一向不是人力可以全盤掌控，而未來氣候將如何改變則更無法透過目前模式模擬就足以釐清，僅能就合理假設去探索其可能的趨勢與影響範圍。發展模式為常見的研究方法之一，為簡化實際問題而往往難以避免設立假設條件，以求模式結果不會趨於發散或無法運作，不確定性因素則因而產生，進而使得相關參數在率定上也同樣存在誤差。

在風險分析架構下，如圖 5，相較於傳統設計架構，在預定之水文條件與超越機率下，將對於潛在的各種不確定性因子進行更完整之探討，應用風險和不確定性的分析方法，進行防洪排水工程規劃及經濟效益的完整分析和評估工作的實施步驟及內容的關聯性，可詳細規劃探討控制參數之風險和分析過程中所遭遇參數和係數的不確定性。除了可以依據現況條件進行分析外，在合理推估下，也可以加入環境因素變遷的分析，由於此一架構下計算的結果具體量化風險、以機率分布的形式探討結果，因此在方案選擇時及決策參考時提供了較明確詳細的資訊，因此尤其牽涉到工程經濟效益時，更是不可或缺的資訊，這對工程方案的選擇或改善，以及工程時程的掌握和經費的來源

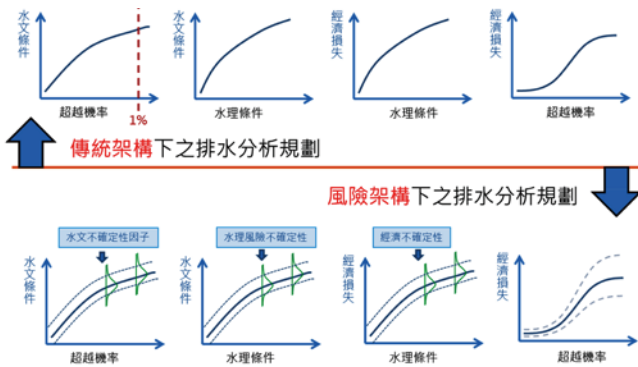


圖 5 防洪風險架構概念

和分攤等，更是提供了最實際的資訊。由於考慮與計算相關參數之機率分布，因此能夠推算出具風險分布意義的量化的數據，以供方案選擇和決策的參考，且其結果探討各種可能性，而且也較具量化的機率分析。

風險架構的分析下可以運用瞭解增加的保護風險以及提供評估是否過於經濟面合理執行。在重要的保護標的，被要求要加強達到保護的風險時，則需有一系列風險與對應的工程經濟效益分析，作為評估，若增加的預算幅度，財務負擔是否可行、經濟效益是否合理等。規劃時有更為實際量化供作各項影響風險的參數或因子之選擇，再而風險與對應的工程經濟效益分析，達到降低風險並盡量兼顧節約經費。當規劃設計工程於完工後，若遭遇超出保護風險的失敗，由於規劃時有完整的風險分析，也可有效解釋減少其他非水利相關領域人士的誤解與歸責。例如過去排水工程，在遭遇超出保護標準的豪雨事件後，水利領域以外以及一般民眾或媒體，對於所謂保護標準 20 年或是保護在多大的流量有錯誤認知，然這些規劃都帶有不確定性與風險，因此將風險和不確定性以及工程效益分析納入工程規劃，就較能呈現出規劃選擇的全貌。

風險與不確定性定義探討

風險或不確定性在不同學門都有其不同之定義，然而在概念上主要為在某一特定環境下，以及某一特定時間段內，預期達到目標與實際出現結果間產生之差距。一般而言，其反應了損失發生的可能性，簡而言之，其具有不確定性、有損失可能、及需屬將來性。最早定義何謂風險與不確定性者為美國著名經濟學家 Frank Knight，在其 1921 年出版之「Risk, Uncertainty and Profit」一書中，將決策者所面臨之事件與情況分

為完全確定 (Complete Certainty)、風險 (Risk)、以及不確定性 (Uncertainty) 三大類，通常以機率概估與分析之事件少屬完全確定。而風險被其定義為，決策者於某情況下了解所有可行之選擇，然各選擇卻有一定數量之可能結果，導致決策者無法了解各選項之結果，於此情況下機率將被指派至各個結果。不確定性被定義為無法指派機率至可能結果。決策者對於某情況下之所有可行選擇有所了解，卻無法指派機率至所有或部分之可行選項。於極端之情形下，決策者對於所有之可行選擇甚至將一無所知。美國工兵團 (US Army Corps of Engineers) 根據 Frank Knight 對於風險與不確定性之定義，及其本身對於水利工程實務內涵之了解為基礎，於 1992 年出版之「Guidelines for Risk And Uncertainty Analysis in Water Resources Planning」報告，提供對於工兵團於往後水資源規劃相關議題下之風險與不確定性之建議定義與說明。工兵團將風險定義為，為理解已發生之潛在不期盼與不利之結果，風險之推估通常基於事件於條件機率下發生之預期結果，乘以事件之後果。而不確定性則被定義為其潛在結果之機率與其結果之產生，無法為客觀之機率分布描述，又或其結果自身、結果之產生為無法確定的。

國外針對風險與不確定性進行其定義探討的尚有近代之水資源管理之學者 Daniel P. Loucks，其於 2005 年發表之著作「Water Resources Systems Planning and Management」中，亦同時對於風險與不確定性提出看法。Daniel P. Loucks 認為風險為機率可被用於不同事件或結果之可能性討論；而不確定性為不同事件或結果無法用機率量化，且其事件之自身不可被預測，但其亦指出，風險與不確定性定義雖然有時容易混淆，但對於應用上並不會造成重大影響。

基於水資源規劃設計之角度視具體量化事件風險為分析上之首要，對於風險不確定性利用機率指派量化之可行評估，利用主客觀機率風險作為論述主軸並提供工程師一檢視風險與不確定性兩者分際之概念，圖 6 為實務上面臨含有不同完整程度之資訊與知識，其所應因應採取之不同評估可能策略。兩端分別為完全確定 (Complete Certainty) 以及一無所知 (Complete Ignorance)，實務上為幾乎不存在之兩極端情形，而大部分探討之情境為坐落於兩者間之風險 (Risk) 與不確定性 (Uncertainty)。風險情境即當面臨之條件為工

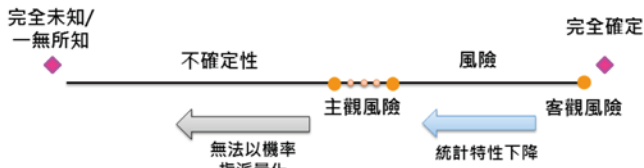


圖 6 風險不確定性之概念

工程師可憑藉自身過往經驗與對課題之了解，主觀或客觀地對於目標參數使用統計做為量化分析工具。主觀觀機率概念上，主觀機率因缺乏相關資料可供參考，故其概念將事件發生的機率由經驗或認知予以決定的。而客觀機率的觀念乃藉由重複多次試驗、觀測，事件出現機率為是該事件出現次數與試驗的總次數之比。簡言之、客觀風險為已經經歷之預期經驗中，事實結果之可能變化。在風險不確定性之思維下，兩者並無清楚之分界與明確之限制，規劃者應具備所有情境均座落於完全確定（Complete certainty）與一無所知（Complete Ignorance）兩極端情況之間的概念，且分析時應著重探究與完全確定（Complete certainty）情況之差距確定分析問題之立基點，即確認資訊之掌握與理解程度是否可運用主客觀機率概念量化風險，主客觀機率描述的對應如表 3 所示。

工程系統之不確定性來源很多，從自然到人為因素，從技術性因素到非技術性因素，不確定性分析之目的在於推求系統或模式輸出結果之統計特性（例如平均值、標準差），作為風險分析模式之基礎。風險分析之目的主要於計算系統輸出結果所受外部因素變化之影響程度，其概念上乃藉由將系統和其變數以機率密度函數運算達到量化的效果，再由量化結果可比較不同變數之顯著性，以利辨識重要因子並做後續於深入討論。

表 3 量化主客觀機率之敘述論述

可能性描述 (富經驗者之主觀判斷)	機率描述	信心程度描述	信心程度
幾乎確定(Virtually certain)	> 99%	非常高度信心度 (Very high confidence)	$> \frac{9}{10}$
極為可能(Extreme likely)	> 95%		
非常可能(Very likely)	> 90%	高度信心度 (High confidence)	$\frac{8}{10}$
較可能(Likely)	> 66%		
稍傾可能(More likely than not)	> 50%	中度信心度 (Medium confidence)	$\frac{5}{10}$
約略各半(About as likely as not)	33~66%		
較不可能(Unlikely)	< 33%	低度信心度 (Low confidence)	$\frac{2}{10}$
非常不可能(Very unlikely)	< 10%		
極為不可能(Extreme unlikely)	< 5%	非常低度信心度 (Very low confidence)	$< \frac{1}{10}$
幾乎不可能(Exceptionally unlikely)	< 1%		

不確定性模擬方法概述

排水系統之功能不足，其風險可能來自於規劃治理過程，存在水文與水理分析之各種水文、水理與地文風險因子本身之不確定性，而各風險因子之不確定性計算方法隨因子本身特性，以及其是否可予以量化而有所不同。早期計算風險之方法以重現期法最具代表性，但此法忽略變數的不確定性，且僅能考慮少數的水文因子；雖然有上述的缺點，此法在目前仍廣泛應用於水工結構物的風險計算（Borgman, 1963）。多數不確定性分析方法運用於線性或接近線性的系統中能有較佳的效能，但當處理非線性系統時有些方法之分析能力迅速降低，尤其若以解析求解的方式處理此類問題時，實際計算過程中易遭遇困難。目前序率數值近似求解的技術已發展成熟，其如主要可將求解方法歸類為點估計法、二矩法與抽樣法，如圖 7，各方法之優缺點則列於表 4。

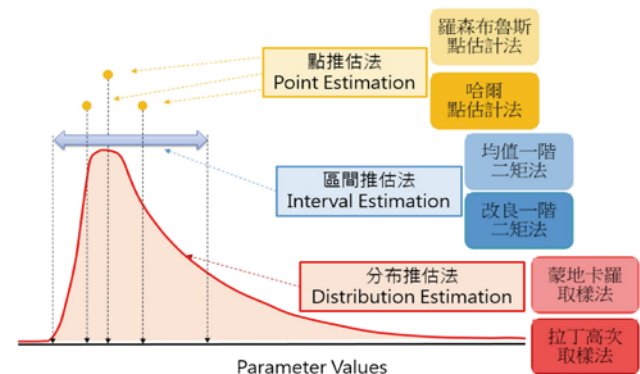


圖 7 不確定性推估概念方法類別

表 4 不確定性分析方法優缺點

名稱	優點	缺點
均值一階二矩法	較簡便分析，當各項影響因子呈現常態分佈可得相當準確結果。	當影響因子呈現極值分佈時，利用一階二矩法所估計的風險可能產生可觀的誤差。不考慮各影響因子間的關聯性。
改良一階二矩法	工程危險時一些影響因子常呈極端值分佈，利用改良一階二矩法較均值一階二矩法可得較準確結果。	計算較均值一階二矩法複雜。較適合極端事件之計算。
羅森布魯斯點估計法	影響因子可為統計上相關或不相關的變數。	當不確定性變數增多時，計算量會大增。
哈爾點估計法	利用主軸轉換的方法，大大減少了羅森布魯斯點估計法所需之計算量。	主軸轉換會將相關性忽略，而造成羅森布魯斯點估計法些微之差異。程式撰寫較羅森布魯斯點估計法複雜。
蒙地卡羅取樣法	最基本、最簡單的不確定性分析方法。	取樣效率較差。計算量過大，所需模擬數組的數目又無法準確估計，以致無法確知所得之輸出函數是否具有足夠的代表性及準確性。
拉丁高次取樣法	取樣效率佳，採樣均勻，因此可將模擬組數減少，節省時間。	與蒙地卡羅法同屬於取樣法，因此模擬次數關係輸出函數的代表性，因此也需要大量計算。

排水規劃之不確定性因子分析探討

風險架構排水規劃分析之首要工作為風險及不確定性因子的確定，風險分析之目的主要於計算系統輸出結果所受外部因素變化之影響程度，概念上藉由將系統和其變數以機率密度函數運算達到量化的效果，再由量化結果可比較不同變數之顯著性以利辨識重要因子，且若了解各重要因子中風險與不確定性之分際，即釐清各因子於機率下之風險主客觀性，將有助於掌握各關鍵因子之風險量化可能性與其不確定性程度，故針對各排水規劃設計分析過程之相關因子進行其主客觀風險機率之探討。排水規劃的設計同時牽涉到內水與外水之影響，內水的規劃設計主要為都市內匯入排水系統之量體，於分析計算上，風險來源主要是歷史降雨資料不準確、降雨延時的不確定、雨型的不確定，降雨逕流機制上另有而水文因子的不確定性，包含有入滲條件之分析，如CN number、入滲係數等，地形因素，集流時間，單位歷線分析等，而外水部分其水文不確定性因子有入流線、流量、潮位的不確定性，明渠分析上有河道計算時所需要的曼寧 n 值或阻力係數等，另還有分洪量、跨河構造物這些結構設施上的不確定性，於排水上之結構設施之影響方面也包含主要為排水系統設施、跨河構造物，抽水站操作等的不確定性等，本文就各類別之不確定性因子，如列其風險主客觀性、資料來源、分析方式與其於排水規劃上之影響性，彙整於表 5 供規劃分析時之初步參考。

建議之規劃流程架構

導入風險不確定性之概念，未來條件下之不確定漸趨複雜，導致單一條件不足分析要求等因素，提出一風險架構下之排水規劃流程，供國內未來規劃評估所需。提出一以國內流程為主軸，風險架構下之排水規劃流程作法以供參考。初步提出建議兩階段之四個工作流程納入國內區排流程中，如圖 8 所示。其中包括：

(1) 目標確立暨條件之盤點、推估與分析

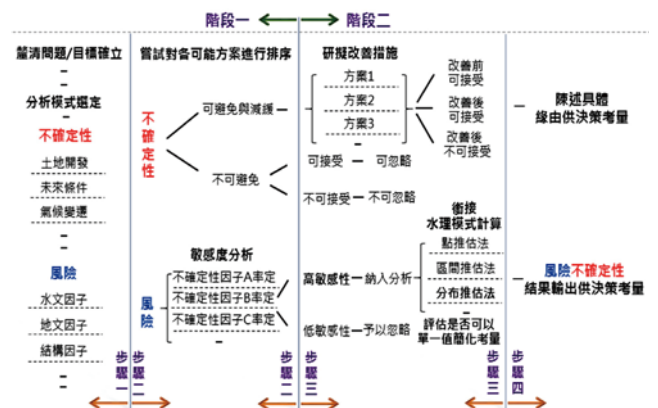
於綜合治水對策規劃階段，風險規劃之主要工作為評估治水對策目標，並依據治水對策可能衍生之風險及不確定進行盤點、推估、與分析。此步驟著重於先行全面盤點治水對策衍生之風險及不確定性因子，以及辨識各因子於此目標下之風險主客觀性來源，甚至是更甚於主觀風險之全然不確定性，以進一步探討其影響性。

表 5 各不確定因子探討彙整

不確定性因子類別	各類別因子	風險主客觀性	資料來源	分析方式	影響性
水文	降雨強度	客觀	氣象局水利署	皮爾森第三型、對數皮爾森第三型等	高
	延時	客觀	氣象局水利署	指數分布等	中、高
	雨型	主、客觀	水利署	連續、不連續分布	中
	上、下游水位	客觀	水利署	常態分布、偏態分布等	中、高
	空間分布差異	客觀	氣象局水利署	空間獨立及關連性分析	中、高
	潮位	客觀	氣象局自行分析	常態分布等	高
地文	流量	客觀	水利署	皮爾森第三型等、時間序列方法	高
	CN 值	主觀	相關手冊	常態分布等	中
	土地利用	主觀	營建署自行分析	常態分布等	中
	土壤性質	主觀	農委會	常態分布等	中
	入滲參數	主、客觀	相關手冊	常態分布等	中高
	集流時間	主觀	相關手冊	常態分布等	中高
	單位歷線	主觀	相關手冊	個別機率	中
結構、設施水位	曼寧 n 值	主觀	相關手冊	常態分布等	中、低
	渠道斷面高程	主觀	測量資料	常態分布等	低
	堰流係數	主觀	相關手冊	常態分布等	中
	跨河構造物形狀係數	主觀	相關手冊	常態分布等	中
	束縮開展係數	主觀	相關手冊	常態分布等	中
	可能破壞條件	主觀	自行分析	個別機率、工程師經驗	中



(a) 建議架構流程



(b) 建議架構一般性工作內容細部示意

圖 8 建議之架構流程暨其一般性工作內容對照

(2) 風險不確定性審視與方案初步評估

第二步驟於前項工作之基礎上，進一步釐清風險及不確定性之重要性，作為方案採用之初步評估工作，不確定性因子需探討其可規避性，風險因子則可初步進行敏感度分析，以瞭解其對於治水策略之影響性。風險及不確定性因子之重要性需做為方案是否採納之審視條件，以決定其執行時之優先考量順序，作為方案選定之基礎與後續分析條件率定之參考。

(3) 方案規劃之細部分析

在於排水整治方案選定後，需進一步根據治水對策規劃時之瞭解，進行風險不確定性之細部分析。主要探討是否需要採取措施以減緩或避免不確定之影響，若無法避免，則需評估其危害性程度是否可將之忽略。此外也需對於可評估的風險因子進一步評估造成之影響，對於高敏感度之因子，建議利用風險架構之各種方法進行分析，以詳實研擬及評估方案。

(4) 分析結果評定

不論是針對可量化之主客觀風險之序率輸出結果，或根據不確定性所研擬之各改善前後規劃方案，於此步驟均需完整於報告中呈現與條列，經各方權衡與評估決定其適宜性。若未能達成決議，則風險分析需退至階段一步驟二選取次要之排序方案，再進入階段二之細部分析，如此直到達成設計所需與取得共識。此外最後選定之規劃內容，建議詳實呈現風險及不確定性之規劃，包含呈現序率風險數據和方案選定考量之具體緣由，與執行需注意之事項，以求周延。

風險控制管理作業

依據較為傳統之觀點，以水文學作為保護標準之架構下，選擇合適之排水規劃策略，在一定之水文學風險下，達到提供保護區域與保全對象對於免於洪災威脅之目的，為排水計畫之任務目標。然選擇不同策略下，均會造成水理條件之改變，甚至相同水理條件下，損失也會可能有差別。以圖9為例，假設現有一排水計畫，將其保護標準提升，但採用之手段如背水堤防或抽水站等，造成相同流量條件下，如果失去保護功能反而會造成更嚴重之淹水，甚至相同淹水條件下，其損失因應時間也會有所不同，而造成超過保護標準後之預期損失也會有所差異。

圖9呈現之概念，為保護標準提高後，高過保護標準時會造成更大之損失，概念上應包含因設施功能失效，所導致於相同保護標準下之損失增加，以及發生超過保護標準事件所產生之損失增加。因此是否為合理之規劃，則需考量計畫所能創造之效益及成本為衡量基礎進行之成本效益分析。排水效益之計算主要是根據工程能減少之洪水損失為主，因此以本例而言，其產生之效益則為圖9中，藍色斜線區域與綠色斜線區域之面積差別，當綠色區域小於藍色區域時，代表計畫執行下可以使災損減少，則為合理方案。

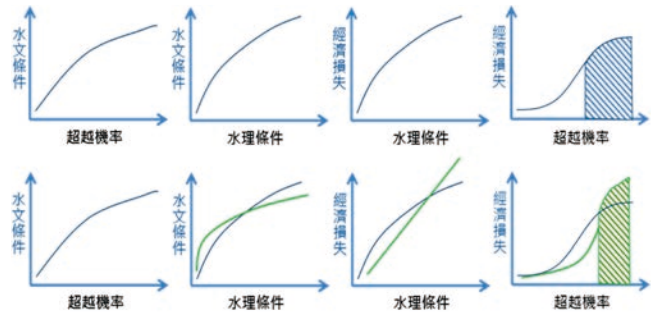


圖9 超過保護標準造成之影響分析評估概念

考量現有之區域排水分析架構，以單一個案而言，應完整分析排水規劃下施行前後之水文水理面向之衝擊影響，以確實分析各項效益，同時考慮提高保護標準之損失減少效益，以及超過保護標準後之可能增加之損失部分，作為成本效益評估基礎。而以政策規劃部分，則需要提供規劃者各項措施所可能造成之後果，尤其是超過保護標準後需考量之風險及不確定性影響部分，從水文方面如流量歷線差異，水理方面如淹水高度差異、以及災損改變部分予以探討，作為階段一綜合治水對策提出時之規劃基礎。其次則為提出風險控制作業，作為階段二排水整治方案分析之參考，使單一個案可以遵循以檢視是否合理納入風險架構，探討該案之各項效益增減，作為方案評定依據。

我國內部控制制度概念彙整

國內內部控制制度操作上主要分作兩個階段程序。第一階段程序為辦理風險評估，首先須由上而下確認整體與作業層級目標，是否依據當初機關單位設立之使命、願景、施政目標及中長程個案計畫等確認整體層級目標。此外目標之關鍵策略是否納入整體或作業層級目標，以及是否配合整體層級目標，依各單位內部職掌以作業類別、項目為基礎設定作業層級目標，亦須再次確認與檢核。同時必須注意組織架構調整或業務增減變動時，整體與作業層級目標與之相應修正之實際情況。此階段另外一項重點即為進行風險評估，大致上遵循風險辨識、風險分析、風險評量等脈絡進行分析探討。風險評估之重點在於，盡可能考量影響目標達成之內、外在風險因素，以避免遺漏潛在之相關風險。待風險如列完畢，將依其影響程度及發生可能性予以量化風險值，而後依超出可容忍風險值及基於相關重要性因素，經討論後決定其需要優先處理之項目。

第二階段程序主要包含選定業務項目以及設計控制作業兩項工作。前者須區分業務性質屬跨職能性、共通性、亦或個別性，而後進入設計與修正控制項目部分。需依優先處理風險項目進行控制作業設計及評估，確認控制重點須包含核准、驗證、調節、覆核、定期盤點、記錄核對、職能分工、實體控制以及計畫、預算或前期績效分析比較等程序。並即時修正已發生內部控制設計缺失業務項目之控制重點，最終評估需修正項目是否列入後續稽核之工作，以確保風險項目控制制度之完備性。表6為國內内部控制制度檢核表，其流程步驟與檢核事項，延續自「風險管理及危機處理作業手冊」中之風險管理架構五項程序，建立風險管理執行背景體系、風險辨識、風險分析、風險評量、風險處理。為使達成風險控管之目的，内部控制制度將建立風險管理執行背景體系與風險處理，調整為確認目標層級及決定風險容忍度與設計、修正控制重點。風險值之量化範圍與風險優先度亦存在差異，其通用量化範圍與功能失效風險樣態與效應分析不同。功能失效風險樣態與效應分析以評比嚴

重度、發生頻率、偵測度之等級量化方式計算風險優先度，並配合危害程度矩陣界定風險層級。國內於考量指標量化上，多半基於簡單操作之原則，僅依據所屬程度簡單劃分為三個等級。主要考量可能為實務上之風險偏屬主觀性，因此具有不易量化之特質。此外若當風險偏重於不確定性之一方，又或於資訊不充足之情形下，少量之等級分際對於工程師於實務之處理與應對上，應較有利於清晰傳達與各方單位。國內所採用之評估方式，為採用如表7之簡化方式計算風險優先度，採風險圖像之概念，以二分法作為風險容忍範圍之區分，簡化危害程度矩陣之風險層級呈現。其中，所需處理之高風險項目包括、非常嚴重之情形、嚴重且發生機率有一定可能性以上、輕微經常發生的狀況，均應優先處理。

排水系統風險控制之一般性功能失效樣態探討

為對於排水規劃設計乃至後續之操作維護階段，進行相關防洪措施功能失效樣態之控管，考量國內風險控

表6 我國内部控制制度檢核表

步驟	首長與高階主管及內部各單位人員	檢核事項	
		階段	是否
辦理風險評估	實現施政效能提供可靠資訊 遵循法令規定及保障資產安全 確認目標及決定風險容忍度 整體層級目標： ■ 願景 ■ 施政目標 ■ 中長期個案計畫 作業層級目標 風險辨識 風險分析 風險評量 設計控制重點 修正控制重點	第一階段程序	<input type="checkbox"/> 1. 是否由上而下確認整體與作業層級目標。 <input type="checkbox"/> 2. 是否依機關設立使命、願景、施政目標及中長期個案計畫等確認整體層級目標。 <input type="checkbox"/> 3. 機關關鍵策略目標是否納入整體或作業層級目標。 <input type="checkbox"/> 4. 是否配合整體層級目標，依內部各單位業務職掌，以作業類別或作業項目為基礎設定作業層級目標。 <input type="checkbox"/> 5. 組織架構調整或業務增減變動時，是否一併檢視修正整體與作業層級目標。 <input type="checkbox"/> 1. 是否全面發掘影響目標達成之內、外在風險因素，避免遺漏機關潛在施政風險。 <input type="checkbox"/> 2. 依風險影響程度及發生可能性決定風險值。 <input type="checkbox"/> 3. 是否依超出可容忍風險值及基於重要性因素，透過充分討論，據以決定需優先處理風險項目。
		第二階段程序	<input type="checkbox"/> 1. 是否依優先處理風險項目，選定業務項目，以進行控制作業設計及評估。 <input type="checkbox"/> 2. 控制重點是否包括核准、驗證、調節、覆核、定期盤點、記錄核對、職能分工、實體控制以及計畫、預算或前期績效分析比較等程序。 <input type="checkbox"/> 3. 已發生內部控制設計缺失之業務項目，是否即時修正應有之控制重點。 <input type="checkbox"/> 4. 自行評估結果，倘有非屬機制設計不當而未落實遵循者，是否由內部稽核小組列入年度稽核項目。
		選定業務項目	<input type="checkbox"/> 風險滾推 <input type="checkbox"/> 跨職能業務 <input type="checkbox"/> 共通性業務 <input type="checkbox"/> 個別性業務
		設計控制作業	

註：請各機關(單位)於內控制度訂定或修訂過程，逐項檢核於□勾選。

管之既有具體作法，與國外功能失效風險樣態與效應分析之差異，建議之架構流程暨其一般性工作內容對照作為基礎，納入並改良修正國內外之作法，提出適合國內排水規劃風險控制作業之分析流程。因首先參考彙整各設施可能之失效風險樣態，考量以排水系統性之觀點下，具體之失效風險樣態應與前述單項設施之考量有所不同，因此據此依據規劃圖，以及設計、操作、維護面等如列須評估之失效風險樣態於表8。

對於排水系統而言，上、下游邊界條件分別為流量與河川外水位高程。超過保護標準之

表7 國內常用之嚴重度、發生頻率偵測等級量化及風險圖像概念(灰色：風險容忍範圍)

嚴重度	等級	發生頻率	等級	偵測度	等級
非常嚴重	3	幾乎確定	3	難以偵測	3
嚴重	2	可能發生	2	中等偵測	2
輕微	1	發生機率低	1	容易偵測	1

嚴重度	風險分布		
非常嚴重(3)			
嚴重(2)			
輕微(1)			
	發生機率低(1)	可能(2)	幾乎確定(3)
	發生頻率		

表 8 排水系統之可能失效風險樣態

項目類別	規劃面功能失效風險樣態	設計、操作、維護面功能失效風險樣態	項目類別	規劃面功能失效風險樣態	設計、操作、維護面功能失效風險樣態
整體系統風險	超過保護標準	人為操作效應與影響	截流或分洪工程	淹水轉移風險(不同條件下取水量)	過洪能力不足
	氣候變遷條件	氣候變遷條件		分洪量差異	草木植被管理不當
	外水條件不一致(過高過低)	外水條件不一致(過高過低)		新建截流分洪渠道風險(參考B)	泥砂淤積
	保護標準改變	保護標準改變		風險轉移	基礎侵蝕
	排水系統銜接	排水系統銜接		其他	結構物本體破壞、外部效應
	短延時強降雨風險	短延時強降雨風險			不充分與不適當維護
	風險轉移	風險轉移			不適當之建造材料選取、設計
排水路整治	其他	其他	滯蓄洪工程	所在區位淹水風險	達到設施年限
	超過保護標準	漫頂溢、射流		下游區位淹水風險	風險轉移
	溢堤風險	邊坡侵蝕、堤面侵蝕、滑動		地下水水位高度	其他
	潰堤風險	內部侵蝕與管湧		系統運用操作	設計容量不足
	渠道崩塌	土壤液化		風險轉移	草木植被管理不當
	風險轉移	草木植被管理不當		其他	泥砂淤積
	其他	波浪效應			基礎侵蝕
		結構物本體破壞、外部效應			結構物本體破壞、外部效應
		不充分與不適當維護			不充分與不適當維護
		不適當之建造材料選取、設計			不適當之建造材料選取、設計
閘門工程	操作條件	草木植被管理不當	一般性工程	超過保護標準	達到設施年限
	通水断面與上游渠道断面之演算	基礎侵蝕		風險轉移	風險轉移
	配套措施風險(滯、抽水設施等)	結構物本體破壞、外部效應		其他	其他
	風險轉移	不充分與不適當維護			基礎侵蝕
	其他	不適當之建造材料選取、設計			結構物本體破壞
抽水站工程	抽水站操作條件	機具建造與設置	其他	不充分與不適當維護	達到設施年限
	收集水路條件	機械相關設備		達到設施年限	風險轉移
	應變措施	電力系統因素		其他	其他
	風險轉移	人為因素			自我評估相關風險
	其他	結構物本體破壞、外部效應			自我評估相關風險
		不充分與不適當維護			
		不適當之建造材料選取、設計			

功能失效樣態產生，並非完全伴隨邊界條件超過設計標準之情境。因此評判各排水項目類別之規劃面功能失效樣態重要性，應當參酌各邊界條件存在差異下之搭配情形，與其所造成系統與個別項目之危害程度，從而揀選重要之規劃面功能失效樣態進行考量，促使整體風險評估與控制更為周全。一般而言，當考量上游流量維持接近設計標準條件下，下游河川外水位可能存在低於、接近、高於等三種可能情形。當外水位低於設計標準時，可能造成排水路流況改變，進而引發如下游水位過快造成之渠道沖刷等風險；而當外水位低於設計標準時，首當注意的即為下游水位過高所造成之迴水影響。此外，當考量上游流量過大而高於設計標準之條件下，若下游水位過低，則亦容易誘發各區位之可能淹水風險，因此考量上述邊界條件之組合，為篩選重要規劃功能失效樣態之基本依據。

對規劃面之整體系統風險而言，應將兼具外部性與整體性考量之功能失效樣態列為主要評估項目，因此

如風險轉移與短延時強降雨等項目，建議可歸類於其餘子項目分析時再做細部性之考量。以系統而言，應當重點檢視如外水條件、與整體系統超過保護標準、氣候變遷與其餘排水系統銜接等牽涉範圍廣泛且兼具整合性議題之功能失效樣態為主要調查對象。外水條件之影響通常伴從上游流量、天文潮與颱風暴潮等條件而定，於前所述可能致使發生整體區域淹水、下游區域迴水與渠道安全性等規劃面失效課題，雖若發生將產生一定程度之危害，然於實務上外水之考量，除本身適逢大、滿潮造成外水過高等影響外，亦應同步考量內陸區域因如颱風暴雨、區域性空間不均勻降雨導致內水邊增外水過低，以及該排水系統本身因地勢特性所具有頻繁發生之特有問題，考量上需滿足成立之條件較為繁雜，故本團隊將其發生機率歸類介於發生機率性低與可能之間。另一方面，內水所導致超過保護標準之淹水災害則較為頻繁，故將其發生度列為可能之層級，而淹水區位之不確定性，使得嚴重度之考量應界於非常嚴重與嚴重之間。此

外，排水系統銜接失效之嚴重度與發生度評比上，其若搭配發生於內水遽增之時期，將可預期產生非常嚴重之後果，惟此情況發生之頻率於實務上較不顯著；另外，氣候變遷之長期趨勢效應，於功能失效樣態案例中，應不致產生過於嚴重之影響。

對於排水路整治工程於規劃面上所需考量之功能失效樣態，應主要探討潰、溢堤、以及超過保護標準之項目。因考量渠道崩塌之影響未若如背水堤溢、潰堤所造成之災損效應嚴重，因此建議其應歸類於後續操作維護之面向進行考量。背水堤於實務上主要設置於低地區域，故其水路溢堤除高流量之前提下，其發生尚須配合下游措施與外水條件之失效與改變，本研究將其發生度定為發生機率低與可能發生之間，而其嚴重度則定為輕微與嚴重之間。若考量潰堤之情況下，其發生度應與溢堤之可能性類似且具較高度之嚴重度。此外，超過保護標準於排水路整治工程中之面向更為廣泛，因此具有較高度之發生可能，以及介於背水溢、潰堤之間之嚴重程度。

截流及分洪工程主要需著重於探討分洪量差異、淹水轉移風險、風險轉移等規劃風險項目。截流及分洪道之設置，最常面臨分洪區域渠道之分洪量難以確實掌握之課題。惟其與主流量體分配之不確定，於實務上較不易發生大量轉移至分洪道之情境，故尚不致構成過大之渠道危害，其嚴重度被定義介於輕微與嚴重之間，而發生度則為可能發生中偏屬較高之情形。另一方面，淹水轉移風險多半源自於分洪量差異之不確定性，因此當上游流量過大時，不均勻之流量分配極可能導致淹水轉移至分洪區域。鑑於此，淹水轉移風險之發生度與危害度，應分別略低於與高於分洪量差異之特性。

上游滯蓄洪設施首當注重其所在區位淹水之問題，即當上游流量過大超過其所可儲蓄之水量時，是否誘發區域之超過保護標準淹水問題。所在區位淹水之發生度應於可能發生中偏屬保守，然若發生其嚴重度可能將介於相當嚴重與嚴重之間。此外，量體過大進而使淹水範圍擴及下游之情境，因其非首當其衝之危害範圍，因此相較於所在區位，其發生度與嚴重度之評估考量上均應較為樂觀，然考量下游防護措施規避災害程度之不確定性，以及上游措施策略之設置，可能導致下游土地利用與標的之增值，故亦建議危害度之界定不宜過於保守。另一方面，風險轉移之考量

邏輯則較為不同，因難以界定下游區位之實際利用狀況，且考量排水系統上游與下游區位之距離範圍不致過小，故風險轉移之發生度與危害度，分別介於發生機率低與可能、嚴重與輕微之間。上游滯蓄洪設施系統之運用操作，則為淹水風險與風險轉移兩功能失效樣態之樞紐，故指標量化上亦應當介於兩者之間。

開門之操作條件須於規劃上謹慎思量，因若不甚操作，其將於下游外水過高之情形下導致內陸迴淹、並於上游內水流量過大下，造成排水不彰等淹水問題。其甚至可能誘發抽水機淹沒失效等連帶問題，造成排水系統等連鎖功能失效樣態。因此操作條件之嚴重度應可歸類介於非常嚴重與嚴重之間，同時存在一定程度之發生可能。考量通水斷面與上游渠道斷面演算之原因在於，不恰當之估算將使得後續配套措施（滯洪、抽水設施等），以及可能產生之風險轉移面臨不確定性。然推估上因種種外部不確定性要素，使其發生後果偏屬可能且存在一定程度之嚴重後果。風險轉移則主要集中於排水系統下游，上游流量或下游水位過大均可能因淹水與迴淹等現象造成抽水站失效，進而轉移淹水風險至渠路之外部區域，惟若相關配套措施設置得宜，可顯著減緩其所造成之衝擊。一般而言，兩者之發生機率應不致過高，影響層面將侷限於局部區位，故嚴重度之評比亦不致過高。另一方面，抽水站之考量可適度搭配開門工程一併進行討論。不適當之操作條件以及不正確之收集水路條件，均會導致抽水機淹沒失效之產生，其中人為操作因需配合內、外水條件，故其尤須於規劃過程中嚴加考量。風險轉移與相關應變措施則類似於開門工程之概念，主要評估各因素導致抽水站失去功能後，下游區域之可能擴及風險範圍規模，與其相因應之應對策略。

自各可能之排水設施類別功能失效樣態進行彙整，先行篩選重要類別，並依據排水系統之可能上下游邊界條件，進一步收斂各類別細部功能失效樣態後，將其利用國內風險地圖量化嚴重度與發生度指標。惟於實際分析上，工程師對於規劃面向之細部考量均存在主觀性，因此為保留後續操作上之彈性，且因應各排水系統案例，於考量功能失效樣態指標量化時之獨特性等因素。認為應提出一更為一般性之功能失效樣態考量架構如下圖 10，提供從業人員於往後排水系統規劃面上，對於功能失效樣態定性考量之一方向上之初步架構。

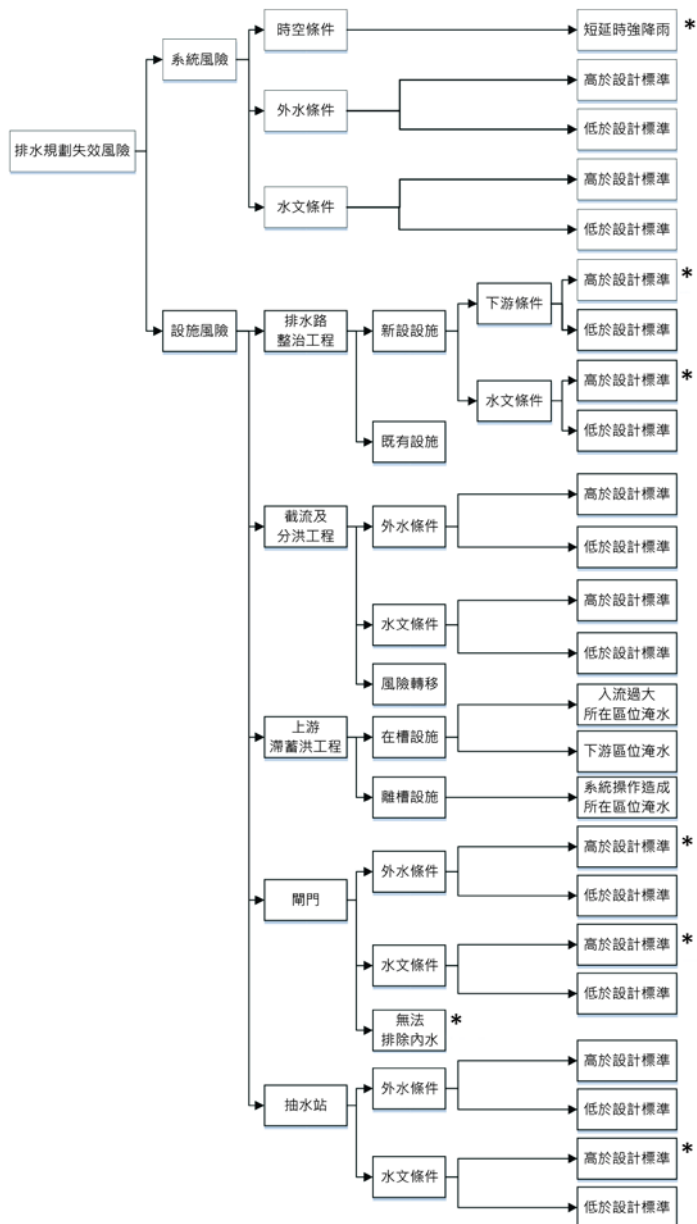


圖 10 建議之排水系統規劃面功能失效樣態考量架構
(* 為建議為優先考量項目)

建議適用於國內之功能失效樣態與效應分析流程

本文建議之排水規劃風險控制作業可依循圖 11 之流程進行分析。概念上分為兩階段進行探討、階段一綜合治水對策以及階段二排水整治方案。首先於階段一進行綜合治水對策初步風險功能失效樣態探討，依據各類排水相關設施類別之規劃部分，進行定性失效風險樣態之條列評估，以利於綜合治水對策階段提出風險可行性之分析。接著進入擇定排水整治方案之第二階段，配合定量之水理分析結果執行排水整治方案風險影響分析，若經判斷方案須於規劃階段予以修

正，則退回方案擇定之步驟，重新評估各排水整治方案之可行性，最終並將整體分析過程，適度於正式報告中敘明定性風險功能失效樣態之過程內容，以及方案擇定之篩選結果。

經由前述分析排程之研擬後建議採用，建議以表 9 進行評比。即於排水系統規劃面之定性功能失效樣態探討後，隨即進入研究目標之方案擇定步驟。於實務分析上，排水改善規劃應比較各種工程與非工程方法，並對適合集水區之可能方案做可行性評估，待分析與檢討過後，選定最為適當之可行方案（或組合方案）作為計畫案之選定。其選定考慮之因素除比較改善效果及改善經費外，亦含括評估安全、技術、經濟、財務、政治、社會、環保等因素之可行性。

結語

本文對於水利工程規劃決策時，對於規劃相關之評價概念進行探討，由成本效益分析之架構與精神，風險分析之概念，及風險管理之架構進行介紹。由於國家政策，目前各項相關規劃均積極展開，如何對於相關規劃合理評價均為水利從業人員相當棘手之工作，因此本文就各項層面之議題進行介紹。包括如何未來水資源工程規劃方案更為周延，研擬針對規劃方案的成本及效益評估內容與架構，規劃建置適當且合於趨勢之分析模式與方法。考量風險與不確定性之概念與工作方法，水力規劃設計風險與成本效益之關聯性，以及如何將風險分析應用於工程分

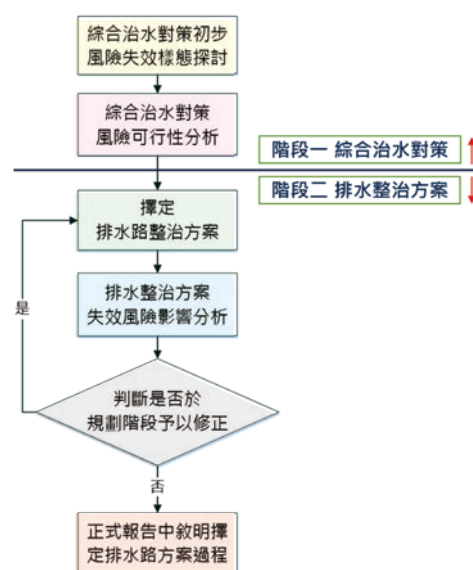


圖 11 建議適用於國內排水規劃之風險控制作業流程圖

表 9 建議之排水綜合治水改善方案比較表

方案	工程內容	經費概算	改善效果			優劣分析		風險 可行性評估	益本比	可行性評估	高	中	低	建議
			平均淹水深度 (公尺)	淹水面積 (公頃)	淹水體積 (萬立方公尺)	優勢	劣勢							
現況	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	
									技術可行性					
									經濟可行性					
									用地取得性					
									民意接受度					
									維護管理					
									技術可行性					
									經濟可行性					
									用地取得性					
									民意接受度					
									維護管理					

參考文獻

- California Department of Water Resources, (2008). Economic Analysis Guidebook, Department of Water Resources, Sacramento California.
- Daniel P. Loucks, Eelco van Bee, (2005). Water Resources Systems Planning and Management.
- Frank H Knight, (1921). Risk, Uncertainty, and Profit. Hart, Schaffner, and Marx Prize Essays, no. 31. Boston and New York: Houghton Mifflin.
- United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, (1998). "Water Resources Handbook for Economics." All U.S. Government Documents (Utah Regional Depository). Paper 168. <http://digitalcommons.usu.edu/govdocs/168>
- United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, (1998). "Water Resources Handbook for Economics." All U.S. Government Documents (Utah Regional Depository). Paper 168. <http://digitalcommons.usu.edu/govdocs/168>

析設計規劃上，以及風險控制作業流程項目，提出風險控制作業項目於現行架構之框架下操作方法，以供未來相關從業人員架構改善與具體落實之參考。

本文主要就概念進行一相關介紹，各項工作細節，也建議參閱本團隊過去完成之「水資源規劃經濟效益分析與評估」、「排水規劃設計風險及不確定性因子之探討」、「水規劃納入風險分析可行性評估」等計畫報告。基本上基於各項水利工程計畫之相關規劃，工程師應有站在較高位階去思考其整體影響，以經濟成本效益分析概念進行整體計畫評價，絕對正確的貨幣化價值實際上難以達成，但其本質為系統化的進行正面效益與負面成本之整體分析，以確定其對於國家社會是有所助益，而非不必要之投資或勞民傷財的作為。而在實際規劃時，則必須實際考慮各項風險不確定的影響，減少計畫失敗機會，然而在一定風險下，則需納入一併評估，除水文條件外，各項系統上之風險如表五建議一併納入，討論系統失效下是否減損計畫效益，以免過於樂觀的假設造成對於效益過度預期，目前規劃多以保守為主，假設集水區水文條件維持現狀不允許更改，然而長期上水文風險、相關設施都有效能減損之可能性，也會有風險轉移之威脅，常造成民眾無法接受相關處置，也需一併考量。在此條件下，規劃時則可以進行合理風險控管，預期各項設施失效下之衝擊，一可以嘗試避免系統失效下造成過高之損失，適當降低整體風險，二則可以修正或擬定因應對策，作為防災作為上之參考，避免可能之嚴重後果，以期計畫能具體完整。

- US Army Corps Engineer, (1992), Guidelines for Risk and Uncertainty Analysis in Water Resources Planning Volume I.
- US Army Corps Engineers, (1992). Risk-based Analysis for Evaluation of Hydrology/Hydraulics and Economics in Flood Damage Reduction Studies (EC 1105-2-205)
- Water Resources Council (US), (1983). Economic and environmental principles and guidelines for water and related land resources implementation studies. Water Resources Council.
- 經濟部水利署 (2008), 「水患治理之經濟效益評估」, 台灣經濟研究院。
- 經濟部水利署 (2007), 「水資源建設與管理環境成本評估手冊」, 台灣經濟研究院。
- 經濟部水利署之水利規劃試驗所 (2006), 「流域綜合治理計畫」。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2004), 「水資源開發經濟分析財務計畫評估手冊」。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2004), 「水資源開發經濟分析財務計畫評估手冊」, 周嫦娥等編著。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2009), 「防洪工程經濟效益評估之檢討修正總報告」。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2009), 「防洪工程經濟效益評估之檢討修正總報告」。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2013), 「水資源規劃經濟效益分析與評估」, 游景雲編著。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2015), 「排水規劃設計風險及不確定性因子之探討」, 游景雲編著。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2016), 「水規劃納入風險分析可行性評估」, 游景雲編著。
- 行政院 (2009), 「風險管理及危機處理作業手冊」,
- 行政院經濟建設委員會 (2008), 「公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊 (97 年版)」, 台北: 行政院經濟建設委員會。





從 仙台減災綱領 看 台灣歷年水利防災工程之成效

李欣輯／國家災害防救科技中心體系與社經組 副研究員

黃桂卿／國家災害防救科技中心體系與社經組 佐理研究員

楊松岳／經濟部水利署水利規劃試驗所 正工程司

水利工程建設在台灣已有數十年的歷史，無論是早期的水利灌溉、水資源供應或後來的經濟發展等，早已為台灣帶來許多實質的效益，近年特別是在水利防洪的減災工作上，更是貢獻良多。唯礙於早期淹水模擬技術缺乏，較難進行淹水規模的評估，直至 1982 年「防災科技研究計畫」的推動，使得淹水模擬技術至今 30 多年，已發展成熟，足以精確計算淹水規模，並進一步評估水利防洪工程的防災效益。本研究依據仙台減災綱領的減災目標，研擬三項效益評估指標，包括：(1) 減少災害影響人數之效益、(2) 減少災害死亡人數之效益及 (3) 減少關鍵基礎設施直接經濟損失之效益。文中選取第一代及第三代淹水潛勢圖，比較期間施作各項防洪工程實質帶來的工程效益；同時，選取全台六都人口最多之新北市作為研究示範。依據評估結果，近十多年北部地區新增之水利防洪工程，每年平均可減少 29 條人命的死亡，年期望效益為約為 112 億元。然而若以 60 年工程壽命計算，未來共可創造總年期望效益值 1,909 億元。此結果說明台灣北部地區水利防洪工程的顯著效益，亦突顯國內水利防災工作之重要性。

前言

近年全球暖化所造成的極端災害事件已引起全世界的關注。2015 年初在日本宮城縣仙台市舉行的第三屆世界減災會議，強調未來 2015 至 2030 年應將減少災害衝擊及生命財產損失當作重要的減災目標。接著，2015 年底於巴黎舉行的聯合國氣候變化綱要公約第 21 次締約方會議 (COP21)，UNFCCC 為了因應氣候變遷對各國帶來的衝擊，提出 Warsaw Loss and Damage Mechanism (WIM)，目的在於“dealing with climate-related effects, including residual impacts after adaptation”，並認為調適成效的量化研究將成為國際氣候變遷制度的新支柱。由此可知，如何量化未來災害衝擊及評估各項調適的效益，將成為未來全球重要的減災方向。反觀台灣的水利

防災情況，其實從數十年前開始，早已投入許多人力及資源，進行防洪減災的研究工作。自 1982 年至今，國內從「國科會防災科技研究計劃」、「防災國家型科技計畫」、「強化災害防救科技研發與落實運作方案」，到現今之「行政院災害防救應用科技方案」，共經歷了 35 個年頭。期間無論於歷史資料蒐集、學理研究及基礎設施建置、到任務導向之研究方法建立等等，都有很大的進展，甚至這些年所累積之研發能量，早已落實於現今的防災政策中。然而，這些累積的研發能量，礙於過去水利防災效益技術的缺乏，無法突顯實質的防災成果。故本文將依據仙台減災綱領，提出實質可衡量減災效益之指標，進行台灣歷年水利防洪工作之成效分析，藉以說明過去台灣在水利防災領域之實質貢獻。

台灣歷年防洪科技研發歷程

1982 年以前，臺灣科技研發計畫因缺乏統籌協調機制，不同部門重覆執行相同課題，加上臺灣地區災害發生原因與防救需求多屬具有地域特性者，導致過去外國研究成果難以直接應用於國內，故當時研究成果落實應用比例偏低。國科會（現科技部）有鑑於此，乃邀請學者專家及相關事業單位共同策劃，針對學理之研究、資料之蒐集分析整理、未來實際應用等三方面兼籌並顧，於 1982 年成立大型「災防科技研究」，並正式啟動國內災防科技發展的研發能量（推動歷程詳如圖 1）。之後，1997 年「防災國家型科技計畫」接續推動我國災防科研工作（國家災害防救科技中心，2006），其中經歷 1999 年的集集大地震，促使災害防救法於 2000 年 7 月頒布施行，並據以建構災害防救運作體系，使近年災害防救工作效能得以大幅提升；尤其颱風災害的應變，已由被動之搶救作業，提升為主動之資訊分析研判與提早預警疏散，有效減少人員傷亡。2006 年隨著「防災國家型科技計畫」之退場，政府接續推動「強化災害防救科技研發與落實運作方案」（國家災害防救科技中心，2010），有效整合參與部會署之研發能量及成果，提升災害預警技術及精度，並轉化、落實應用至相關災害防救業務。2011 年開始更進一步執行「災害防救應用科技方案」，對於整合國內之災害防救研發推動工作，更向前大步邁進，亦使災害防救的運作機制愈趨完備（國家災害防救科技中心，2014）。

淹水潛勢模擬技術的發展，始自 1982 年「防災科技研究計畫」的逕流模式研究開始，於 1997-1999 年「防災國家型科技計畫（NAPHM）」第一期防災計畫

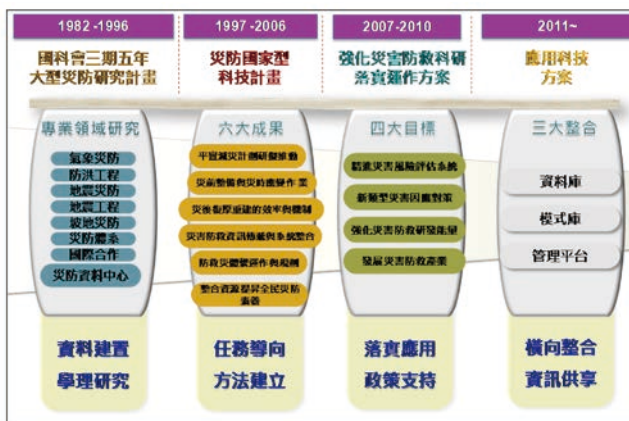


圖 1 臺灣歷年災防研究整合性計畫（本研究整理）

期間，完成全台 20 縣市之第一代的淹水潛勢圖。接著鑑於洪災模擬技術的提升，於 2007-2010 的「強化災害防救科技研發與落實運作方案」中，水利署提出淹水潛勢圖更新的計畫，並於 2009 年完成全台 22 縣市之第二代淹水潛勢圖之更新作業。近年由於各項易淹水區的治理計畫陸續完成，大部份地區的淹水潛勢均大幅改善，二代淹水潛勢圖已難反應實際淹水改善的成果；再加上，依據「水災潛勢資料公開辦法」第九條規定，淹水潛勢圖應由製作機關每五年檢討一次。因此，水利作業主管機關於 2014 年啟動淹水潛勢圖第二次更新計畫（產製第三代的淹水潛勢圖），並已於 2016 年底完成全台淹水潛勢圖的更新作業。

依據水利署資料（表 1），第三代淹水潛勢圖的 DTM 採用內政部提供較新年份（民國 95 年）完成之數值高程，且網格精度全數小於 40m × 40m，相較一代及二代之模擬精度提升許多。另外在水工建造物的部份，除了與二代一樣考量滯洪設施、暴潮因素、外水溢流、水閘門及抽水站等水工建造物外，更進一步將下水道系統、區域排水系統、河海堤防及橋樑等防洪能力，一併建置於淹水模型中。最後更重要的，近年政府已於各易淹水地區展開多年治理計畫，且多數地

表 1 淹水潛勢圖改版歷程

淹水潛勢圖	第一代	第二代	第三代
時間	1997-1999	2006-2009	2014-2016
網格精度	200m × 200m	40m × 40m	小於 40m × 40m
DTM	農林航測所於民國 70-78 年間測量相片基本圖之資料	內政部於民國 94 年更新完成之數值高程（無第一代之人工地整問題）	採內政部提供最新年份（民國 95 年完成之數值高程
模式選定	全面採用同一種模式產製，無邊界銜接的問題	全國分區採數種模式製作，存在邊界銜接問題	制訂模式檢驗證標準，去除縣市邊界銜接問題
考量之水工建造物	滯洪設施		√
	暴潮因素		√
	外水溢流		√
	水閘門		√
	抽水站		√
	下水道系統		√
	區域排水系統		√
	河海堤防及橋樑		√
易淹水地區治理規劃結果			√

資料來源：水利署網站（本研究整理）

區已有顯著的治理成效，第三代淹水潛勢圖的改版，亦將治理的成果反應於潛勢圖的模擬成果中。故相較於一代及二代，三代圖資更能掌握實際淹水的規模。

水利防災工程效益之評估方法

從台灣歷年防洪科技研發歷程的分析來看，各代淹水潛勢模擬後的淹水改善成果，實為各項水利防災工程的整體貢獻。但因防洪工程治理成效很難單從短期一個計畫或一個工程就可得知，而是需要以長時間的尺度來比較及分析；另外，過去工程界在進行方案或計畫之成本效益評估時，由於效益評估技術的缺乏，故多以質化的方式來討論工程效益，如減少受傷人數、改善生活品質或促進社會經濟發展等。因此這些質化效益難以與量化的成本進行實質比較，故在評估方案或計畫之益本比時，實質的成效多半被低估。本研究依據仙台減災綱領的目標及文獻所建立之效益量化方法，就是為了減少工程效益低估的問題。以下首先針對 2015 年通過之仙台綱領減災目標進行說明。

仙台減災綱領簡述

2015 年 3 月 14 到 18 日在日本宮城縣仙台市舉行的第三屆世界減災會議通過 2015-2030 年減災綱領，此綱領立基於 2005 年通過之兵庫行動綱領，訂定出未來 15 年具體減災協議（國家災害防救科技中心，2015）。仙台綱領的七大目標分別為 (1) 實質地降低全球因災害的死亡率；(2) 實質地減少因災害影響的人數；(3) 減少災害造成的直接經濟損失；(4) 實質地減少災害對關鍵基礎設施的破壞，以及造成基本服務的中斷；(5) 大幅增加具有國家和地方減災策略的國家數目；(6) 大幅度強化針對開發中國家的國際合作；(7) 實質地改善民眾對多重危害的早期預警系統和災害風險資訊與評估的資訊之可及性和管道。

為了讓上述七項目標得以明確操作，仙台綱領提出四項優先行動，分別為「明瞭災害風險」、「強化災害風險治理」、「投資減災」、「對應變及重建作更完善的事先整備 (Build Back Better)」。這四項優先工作雖然路徑不同，但最終的目標一致，都是為了減少災害造成實質經濟損失（陳可慧等，2016；李香潔等，2017），藉以達成全球經濟永續發展的防災效益。因此仙台減災綱領提出之工作目標，很適合作為防災效益的評估指標。

水利防洪工程效益之評量指標建立

防災工程之效益定義為「有」與「無」治理工程時，造成之損失值差異 (Li, H.C. *et. al.*, 2008)。若施作工程後造成的損失，較無作為之損失來得小，其差值就可計為正效益；反之，就稱則為負效益。因此效益評估的關鍵步驟，就是災害衝擊之損失量化分析。

依據仙台減災綱領的七大目標第 1 至第 4 項，超過總標目的半數均以減少實質標的物的損失為主。因此，本研究依據上述四項目標建立三項實質損失量化的估算方法，進一步評估不同水利工程之防災效益。個別論述如下：

(1) 減少災害影響人數的效益評估方法

本研究將依據內政部歷年門牌點位資料，以家戶單位進行分析，在確定災害影響範圍的條件下，就可以利用各區的門牌點位精準計算出受淹的戶數，進而計算影響人數。然而在影響戶數減少之效益計算，依據實際災害調查的資料 (Li, H.C. *et. al.*, 2008)，一般洪災事件造成的住宅損失平均每戶為 27,407 元，此損失值估算包括了人力資本損失（受傷之花費，不含死亡）、家俱家電損失、交通工具損失，居住服務中斷的損失（如暫住旅館、租房等）及其他（如清理花費、公共花費等）。故此指標的總效益計算為「減少之影響戶數」乘上「每戶平均損失值」，即為本研究影響戶數減少之效益。

$$\text{影響戶數減少效益} = \text{總減少戶數} * 27407 \text{ 元 / 戶} \quad (1)$$

(2) 減少災害死亡人數之效益評估方法

本研究將依據歷史的洪災事件，估算平均每場洪災事件的死亡率，並藉由第一項指標的計算結果，推估淹水衝擊造成的死亡人數，再進一步比較因水利防洪工程改善，帶來的死亡人數減少的防災效益。至於關於死亡人數減少的效益是否得以貨幣化的議題，一直存在很多的爭論。但為了完整進行效益的比較，本研究單純依據文獻的分析，初步歸納人命損失的現值為 1200 萬元至 3400 萬元之間（薛立敏等 1987；Liu, J.T. *et. al.*, 1997；Ko-Fei Liu, 2009），本研究即採平均值為 2,300 萬元 / 人，作為估算的參考值。最後此指標的總效益計算式如下所示。

死亡人數減少效益 = 總死亡人數減少量 * 2300 萬元 / 人
(2)

(3) 減少關鍵基礎設施直接損失的效益評估方法

國家災害防救科技中心於 2013 年建置完成台灣颱風洪災損評估系統 (TLAS Taiwan)，損失模組包括影響戶數估算模組、土地流失模組、住宅損失模組、農林漁牧模組、工商服務損失模組、公用建物損失模組、交通及水利設施損失模組等七類 (李欣輯等, 2013)。TLAS Taiwan 之商服務損失模組、公用建物損失模組，交通及水利設施損失模組，即是針對台灣主要關鍵基礎設施而建置。因此本研究即以 TLAS 進行淹水潛勢範圍內關鍵基礎設施直接經濟損失的計算，其中各模組之簡化公式如表 2 所示。

依據主計處工商普查統計資料，工業主要區分五類，以製造業為主要產業；商業區分成 12 項，以零售批發及服務業為主。過去由於工商損失的資料多半列為公司機密，因此在資料可及性的考量，表 5 中的計算公式採主計處每五年一次的工商普查資料，依據各類工業及商業之產值，建立受災面積與損失之分析公式。另外在公設及交通水利損失之計算，對工程部門來說並不困難，主要依據工程復建成本或造價來估算，進行逐項設施的損失推估。

歷年淹水防治效益分析 - 以新北市之例

本研究以新北市為例，依據不同時期下淹水潛勢圖造成的衝擊的損失，作為水利防洪工程效益之示範案例，並藉以說明各效益指標之應用方式。

單場事件效益指標之分析

依據經濟部水利署第十河川局資料，大台北地區由於為全台人口密度最高都市，亦是台灣社經高度發展的地區，因此政府於 1980 年開始擬定各種防洪計畫，包括 1980 至 1984 年間完成二重疏洪道及五座抽水站及堤防的增建；1985 至 1987 完成蘆洲抽水站興建工作；1991 年基隆河河道的截彎取直、堤防改建、水門增建及洪水預報系統更新，直至 2005 年完成的員山子分洪道等重大工程。這些工程主要最大的成本為台北地區防洪計畫第 3 期 (1990-1999)，包括抽水站及堤防的增建，五股疏左及社子島高保護等工程，共花費 996 億元；另一項為兩期的基隆河整治計畫 (1991-2005) 總投資金額為 438 億元，兩項治理費用總計超過 1,400 億元。然而，這些水利防洪工程歷年來的確逐步且有效的減輕北部地區洪患的衝擊，特別是歷年水患最嚴重的新北地區，這些防洪的成效若得以量化，即可看出歷年治理工程實質的效益。

依據這些工程實際施作的時間，本研究選取一代淹水潛勢圖 (1997-1999) 作為新北市淹水情況的對照

表 2 關鍵設施之損失簡化計算公式

模組	計算公式	損失參照資料
工商損失 模組	$ICL = \sum_i^N \alpha_i [ICP_i \times ICLA_i]$ ICL：商業損失值 (元) IC <i>P</i> _{<i>i</i>} ：單位面積產值 (元 / 平方公尺) ICL <i>A</i> _{<i>i</i>} ：受影響面積 (平方公尺) α：修正係數 <i>i</i> ：縣市	2001、2006、2011 年之商業普查資料 (主計處)
公用建物 模組	$BL = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \alpha_i [BC_{ij} \times BLA_{ij}]$ BL：公用建物損失 (元) BC <i>ij</i> ：建築成本 (元 / 平方公尺) BL <i>Aij</i> ：公用建物受影響面積 (平方公尺) α <i>i</i> ：修正係數 <i>i</i> ：縣市類別 <i>j</i> ：建物類別	歷年台灣地區住宅類建築造價參考表 (中華民國產物保險商業同業公會)
交通及水利設施 模組	$THL = \sum_{i=1}^N \alpha_i [SUC_i \times SLN_i]$ THL：交通及水利設施損失 (元) SUC：結構物單位成本 (元 / 公尺或元 / 平方公尺) SLN：結構物受損單位 (公尺或平方公尺) α <i>i</i> ：修正係數 <i>i</i> ：結構物類別	歷年颱風事件工程復建經費 (公共工程委員會)

資料來源：李欣輯等 (2013)

組；選取三代淹水潛勢圖（2014-2016）作為比較組，進行水利防洪工程效益的示範評估，藉以討論新北市地區近年來增加許多水利防洪工程後的實質成效。依據水利署之淹水潛勢圖資（由於淹水潛勢圖資，有各種不同的模擬情境，此處取 24 小時 450 mm 的降雨情境為例，進行指標計算說明），圖 2 至圖 3 即為新北市地區一代及三代淹水潛勢圖的模擬結果。另外，表 3 為依據圖 2 及圖 3 所計算的影響戶數及各項關鍵基礎設施直接經濟損失的結果。

依據圖 2 及圖 3 的淹水分佈情況，明顯得知，相較於 1999 年的水利防洪情況，在近十多年新增的水利防洪工程保護下，第三代淹水潛勢圖的淹水面積已大幅減少，初步顯示防災工程的成效。再者，從表 3 的

表 3 淹水損失評估結果

項目	損失內容	第一代淹水潛勢圖 (A)	第三代淹水潛勢圖 (B)	差異量 (A-B)
影響戶數 (戶)	居住家戶	172,976	58,442	114,534
工商損失 (百萬)	工業、商業	34,610	5,636	28,974
交通設施 (百萬)	以道路為主	352	88	264
水利設施 (百萬)	水利構造物	46	37	9
公共設施 (百萬)	政府機關、學校、醫院、水電設施等	1,239	167	1,072

損失評估結果來看，三代淹水潛勢圖造成的影響戶數為 58,442 戶，較一代之影響戶數減少 114,534 戶，減少率為 66%。另外，依據 TLAS 之工商、交通、水利及公共損失模組之評估結果，直接經濟損失減少值分別為 28,974 百萬元、264 百萬元、9 百萬元及 1,072 百萬元，其中損失減少最大者為工商產業，減少率達 84%，雖然工商損失減少的面積不是最大，但因都會區的工商產值很高，故只要有效減少工商用地的淹水潛勢，損失就會大幅減輕。其餘的損失減少量雖不如工商多，但在近年水利防洪工程的施作下，對水災損失的減輕均有正面的助益。最後，依據表 3 淹水損失評估的結果，本研究應用前文建置之效益評估方法，將三項評估指標的計算結果，呈現如表 4。

第一項指標為「減少災害影響人數的效益」，本研究是以戶數計算。表 4 第二欄即為計算的影響戶數的減少量，將此值代入公式 1，即可求得減災的效益為 3,139 百萬元。

表 4 水利防洪工程效益指標分析

效益指標	減少量	減災效益(百萬)	備註
(1) 影響人數 (戶數計算)	114,534	3,139	公式 1
(2) 死亡人數 (人)	89	2,042	公式 2
(3) 關鍵設施損失 (百萬)	30,318	30,318	表 2 公式
總減災效益 (百萬)		35,499	

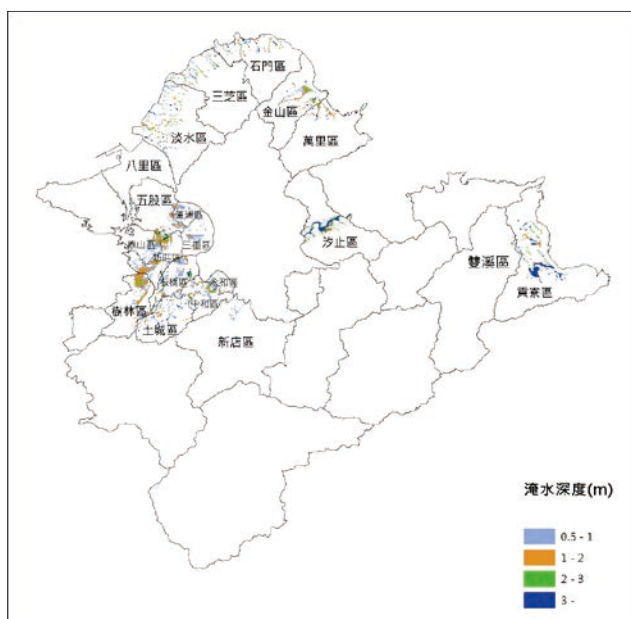


圖 2 第一代淹水潛勢圖 (450 mm/24hr)_ 新北市 (前台北縣)
(資料來源：國家災害防救科技中心)

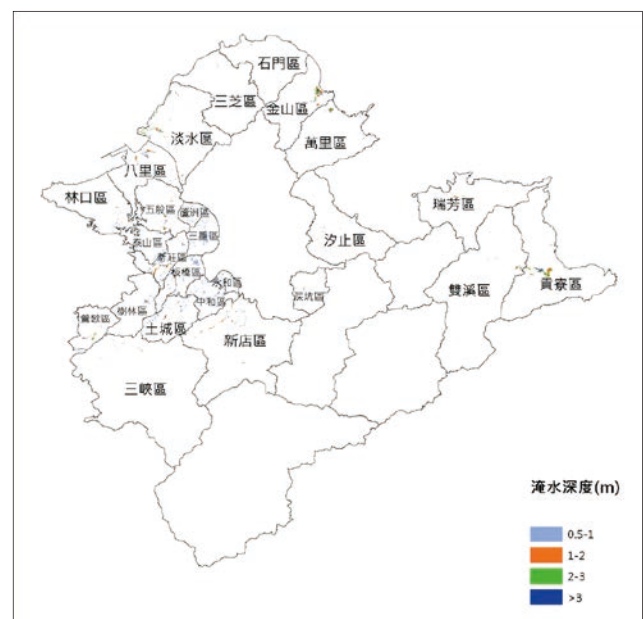


圖 3 第三代淹水潛勢圖 (450 mm/24hr)_ 新北市 (資料來源：
：經濟部水利署水規所)

第二項指標為「減少災害死亡人數之效益」，由公式 2 進行評估。但由於水災死亡率缺乏實際的調查資料，特別是若要區分各縣市又更加困難。因此本研究依據新北市消防局 105 度消防統計年報（新北市政府消防局，2017），概估新北市地區因水災造成的死亡率。據年報統計，新北市 2007 至 2016 年新北市風災害事件加上水災事件的合計共 95 場，其中總搶救人數約為 2,996 人，其死亡 8 人、失蹤 4 人，但其中確實歸因為水災死亡的人數，只有 1 人。因此在總搶救人數 2,996 人下，概估的死亡率約為 0.025 %。

接著依據主計處 105 年家庭收支調查報告，新北市每戶平均人口為 3.1 人，代入表 4 中第二欄影響戶數的減少量中，可求得總影響人數減少量為 355,056 人，再乘上死亡率，即可求得死亡人數的減少量約為 89 人。最後再代入公式 2，可求得減少災害死亡人數之效益為 2,042 百萬元。

第三項指標為「減少關鍵基礎設施直接經濟損失的效益」，即為表 3 中工商損失、交通設施損失、水利設施損失及公共設施損失的總合。依據前文工程效益的定義，損失的減少量即為效益，故表 4 第指標 (3) 第二欄的減少量，已是計算完成的效益值。因此，關鍵基礎設施直接經濟損失減少的效益為 30,318 百萬元。

將上述三項指標的效益值予以加總，求得總工程效益為 35,499 百萬元。但此效益值只是單場事件的比較而已，尚未考慮發生的機率。因此，若要進行完整之風險分析，則需要將不同事件的發生機率代入計算，以年期望效益的方法來呈現。

總年期望效益分析

同樣依據前文指標，可進行不同事件之工程效益評估。由於第一代淹水潛勢圖於新北地區 24 小時的雨量下只有 150 mm、300 mm、450 mm、600 mm 四種情境，因此本研究即以這四種雨量來進行分析（第三代亦配合相近的雨量情境）。在發生機率部份，本研究採中央氣象局於新店屈尺測站（C0A580）歷年雨量資料，採極端值第一型分佈法進行頻率分析。最後據前述效益指標評估方法，將四種情境之效益評估結果呈現如表 5。

由於 24 小時 150 mm 以下的降雨事件對新北地區

表 5 四種模擬情況之工程效益評估

模擬雨量 (24hr)	總工程效益 (百萬元)	發生機率	期望效益值 (百萬元)
150mm 以下	0	0.35	0
150mm ~ 300mm	7,732	0.32	2,451
300mm ~ 450mm	21,610	0.23	5,035
450mm ~ 600mm	35,499	0.08	2,840
600mm 以上	42,189	0.02	844
合計		1	11,170

可能造成的衝擊很小，故表 5 中直接假設為無損失。依據表 5 其他事件之計算結果，水利防洪工程之年期望效益為 11,170 百萬元（約每年可減少 29 人之死亡數量）。假設水利工程的壽命為 60 年，採用 6%（蕭代基、薛立敏，1986）公共工程折現率來進行現值計算，將未來 60 年工程效益折現於基準年（本研究採 2017 為基準年），最後其水利工程的總年期望效益值為 1,909 億元。此結果簡單比對前文提及之大台北地區近年的防洪治理成本 1,400 億元來看，其水利防洪工程帶來的實質效益是大於工程成本，顯示水利防災工程的正面成效。

結論

鑑於台灣過去洪災事件發生頻繁，每次均造成人民生命與財產的損失，因此國內自 1982「國科會防災科技研究計劃」開始，經歷多年的努力，至今於淹水規模的評估技術上，已有成熟的發展，對於防洪效益之評估有相當大助益。據此，本研究依據仙台綱領之減災目標，建立效益評估指標，包括：(1) 減少災害影響人數的效益評估方法、(2) 減少災害死亡人數之效益評估方法、(3) 減少關鍵基礎設施直接損失的效益評估方法，並以新北市為示範區，進行實質水利防洪效益之評估。文中以 1997 年建置之第一代淹水潛勢圖作為評估對照組，取 2016 完成之第三代淹水潛勢圖作為比較組，取 150 mm/24hr、300 mm/24hr、450 mm/24hr、600 mm/24hr 四種情境，評估新北地區自 1997 年完工至今之水利防洪工程所帶來的防洪效益。最後依據本研究的整體分析，北部地區近年新增之水利防洪工程，除了有效減輕洪患威脅外，平均每年可減少 29 條

人命死亡，帶來的年期望效益值為 112 億元。若以未來 60 年工程壽命計算，將創造總年期望效益值為 1,909 億元，高於歷年之工程成本，此結果突顯了歷年水利防洪工程的實質效益。

參考文獻

1. 國家災害防救科技中心 (2006)，防災國家型科技計畫 (NAPHM)，摘要報告，v4，國家災害防救科技中心出版 (naphm95-01)。
2. 國家災害防救科技中心 (2010)，強化災害防救科技研發與落實運作方案，研究報告，國家災害防救科技中心出版 (ISBN 987-986-03-2394-8)。
3. 國家災害防救科技中心 (2014)，行政院災害防救應用科技方案，研究報告，國家災害防救科技中心出版。
4. 陳淑惠、張靜貞、李欣輯、楊惠萱、鄧傳忠、李香潔、郭彥廉、李洋寧，2011，莫拉克颱風社會衝擊與復原調查 (第一期)，國家災害防救科技中心。台北市。
5. Li, H.C., Y.L. Kuo, D. Shaw, and T.H. Huang, 2008, "The Household Benefits Assessment of the Flood Reduction Plan in a Flood-prone Area: A Case Study of Sinwen, Chiayi, Taiwan", *Agricultural and Resources Economics*, v.5 n.2, p41-58.
6. 糠瑞林、蘇明道、張齡方、林美君 (2005)，「工商業淹水災害損失曲線」，臺灣水利，第 53 卷，第 2 期，第 21-30 頁。
7. 李欣輯、陳怡臻、郭玫君 (2013)，臺灣颱風災損評估系統之建置與應用，農工學報，第五十九卷，第四期，第 42-55 頁。
8. 薛立敏、王素庭 (1987)，「台灣地區就業人口「生命價值」之評估 --- 工資風險貼水法之理論與實證」，『經濟專論』，108 輯。
9. Liu, J.T., J.K. Hammitt, and J.L. Liu, 1997, "Estimated Hedonic Wage Function and Value of Life in a Developing Country", *Economics Letters*. 57. pp. 353-5-358.
10. Ko-Fei Liu, Hsin-Chi Li, and Yu-Charn Hsu, 2009.4, "Debris flow hazard assessment with numerical simulation", *Natural Hazards*, Vol. 49 No.1, pp. 137-161.
11. 新北市政府消防局 (2017)，中華民國 105 年新北市消防統計年報，新北市政府消防局。新北市。
12. 國家災害防救科技中心 (2015)，仙台減災綱領中文版。
13. 陳可慧、李燕玲、張芝苓、李維森、陳宏宇 (2016)，「仙台減災綱領」相對於科技發展之檢視與建議，*木土水利*，第 34 卷，第 3 期，第 92-98 頁。
14. 李香潔、張欽儀、莊明仁、李欣輯、李中生、李沁妍、蘇昭郎、林李耀、陳宏宇 (2017)，從仙台減災綱領檢討未來防滅災之規劃方向，國家災害防救科技中心，NCDR 105-T01，新北市。
15. 蕭代基、薛立敏 (1986)，「核能發電社會成本評估方法，核能發電對環境之影響」，七十五年近代工程技術研討會專集，民國 75 年，第 699-717 頁。

台灣公共建設檔案工作成果報告

感謝曾元一董事長推動發起「台灣公共建設檔案計畫」，微電影拍攝歷經兩年，初步成果如下：

2017 年 3 月已發行



台灣公共建設檔案 水力電能篇
第一部：台灣北部水力發電【1/3】



台灣公共建設檔案 水力電能篇
第一部：台灣北部水力發電【2/3】



台灣公共建設檔案 水力電能篇
第一部：台灣北部水力發電【3/3】



2017 年 9 月最新發行



台灣公共建設檔案 水力電能篇
第二部：中部水力發電【一】



台灣公共建設檔案 水力電能篇
第二部：中部水力發電【二】1/2



台灣公共建設檔案 水力電能篇
第二部：中部水力發電【二】2/2



水力發電之中部大甲溪、南部、東部均已拍攝完成，進行後製中，預計 2018 年春發行。2018 年將繼續製作農田灌溉、火力發電、鐵路等各專題。



海岸防護

吳鴻業／國立臺灣大學水工試驗所兼任研究員

台灣四面環海，海岸防護工程昂貴，本文強調運用績效評估概念，完成整體多目標性的計劃區現況和未來五十年後狀況的可行性評估，以及運用風險和未確定性分析的概念和方法計算颱風暴潮位，考慮颱風控制參數的聯合機率，建立合成颱風，運用颱風暴潮和波浪的電腦數值模式，模擬暴潮偏差和波揚，並結合高潮位的發生機率，運用蒙地卡羅統計方法，推算暴潮偏差、波揚和設計暴潮位的重現期。雙颱、颱風和季風、颱風和強降雨的共伴效應，以及颱風漂砂模擬也可運用此概念和方法調加控制參數運算。

颱風暴潮、波浪、溢淹範圍和程度，以及海嘯的預警模式，包含其未確定性範圍和程度，應儘早建立，並配合適當的疏散計劃，以保障沿岸居民的安全和減少生命財產損失，如此便可建立一個軟硬體兼具的完整有效的海岸防護工作。

前言

台灣的海岸防護工程由來已久，並具有相當的基礎和成就，尤其最近自從海岸防護法成立之後，更積極從事各項相關的研究工作，成果豐碩。我僅就最近二、三年參與台灣幾項相關的工作和會議中，以及研讀相關報告中有些小小心得，並綜合我最近十年來在美國加州海岸防護、溼地復育、航道浚深，以及河川和海岸暴潮綜合洪水水位計算等實務心得，在此和大家分享。本文將針對「海岸防護」工作中的規劃和其相關的技術概念提出一些淺見，以供討論和參考。

台灣四面環海，中間有中央山脈，東岸大部分為岩岸，腹地較小，西岸則多為沙灘平地，人煙稠密。在岩岸和沙灘間則包含了河口、離岸砂洲、潟湖、溼地、海港、漁港、航道、工業區、電廠和離岸風電場等多元化的自然景觀和人為建設。其間約有三分之一的海岸有海堤保護，其餘多為沙灘，較易受到災害，又因台灣每年約有八個颱風經過，其中約有四個登陸，所以容易造成暴潮侵襲、沙灘侵蝕、溢淹及地層下陷區的氾濫等災害。最近又因氣候變遷等自然異端因素，除了造成海平面上升以外，常會遭遇強度颱風、雙颱共伴、和強颱風強降雨等複合型的自然現象

和災害，使得海岸防護工作需要有更周詳的規劃和考慮，並且應用世界上先進的概念，例如風險和未確定性分析。綜合實際測量、水工模型試驗、和電腦模擬等技術，邀請居民積極參加意見，在政府相關單位人員帶領下，將績效評估的概念和方法併入各方案的可行性研究中，以便有效應用有限資源，規劃出最大績效而又能被居民接受的方案。

此外，又因海岸區域工商業的迅速開發，土地利用的改變，緩衝地帶的減少，以及離岸風電的急速開發，使得一個有效的海岸防護工作必須儘早完成，以減少災害的擴大和損失。並且在我們多元化的海岸線中，由於人民對環保意識的抬頭和警覺，使得我們必須對河口、潟湖和溼地的生態和保育工作，儘可能地以多目標的防洪理念，一併納入海岸保護工作中規劃，才較易達到完整性。

最後，除了在硬體工程建設之外，在軟體上必須開發出一個完整準確的預警系統和一套對應措施，如此在颱風侵襲前、或海嘯抵達前，沿岸居民便儘可能完成防災措施，包含疏散到安全地區，以保障沿岸居民的生命財產安全，這是防災、減災工作中不可忽略的項目。

基於以上的緣由，本文將探討以下五項工作，藉以增強海岸防護措施及提升實際效果：(1) 風險和未確定性分析概念，(2) 績效評估概念，(3) 颱風暴潮位計算，(4) 沙灘侵淤計算，(5) 預警系統建立。

風險和未確定性分析概念

風險和未確定性分析概念應用在海岸防護工程已有廿多年的歷史 (Yen & Tung, 1993; USACE, 1992)，然而真正比較落實地去執行、計算、評估，則是最近十多年來的事情，例如美國在 Katrina 颶風造成重大災害之後，才決心徹底執行此種計算分析方式 (USACE, 2006; USACE, 2013; Andes & Wu, *et al.*, 2012; Lin, *et al.*, 2010)。

我們一般對風險的分析比較熟悉，例如在不同重現期的洪水位，亦即每年中不同洪水位的發生機率，或是平均多少年才會發生一次的洪水位，然而對計算出洪水位的準確度或可信度，往往僅用一個誤差值百分比或誤差範圍來表示，缺乏和風險發生率的結合，因此計算出的數值所代表的意義和範圍就比較有限，這多半是受到歷史重要事件資料缺乏及計算資源有限的限制。

如今一般重要的歷史事件已逐漸增多到 30 年 / 50 年，甚至 100 年的資料庫，而且電腦計算速度的加快，和資料儲存量的大增，使得電腦模擬和統計模擬的可行性增加很多，因此增進了我們在這方面的計算能力，並開始量化重要參數的未確定值範圍。假如我們在計算過程中能納入各控制參數值的可能範圍，及相關條件中各種不同程度的組合，如此我們計算出的數值將會包含更廣大的應用條件和範圍。例如在計算颱風暴潮時，除了考慮不同或然率的颱風路徑、暴風半徑、最大風速、前進速度、登陸位置和角度以外，也可考慮雙颱共伴效應，例如台灣 2017 年的尼莎和海棠雙颱，以及 1997 年的琥珀和卡絲雙颱；颱風季風共伴作用，例如台灣 2008 年卡玫基颱風和西南季風，和美國的 Sandy 颶風和東北季風；颱風和強降雨同時發生，例如 2017 年美國德州的 Harvey 颶風所帶來的大水災；颱風的巨大暴風半徑和強大風速，以及二次登陸，例如 2017 年美國佛州的 Irma 颶風所造成的重大災害等極端情境，如此計算出的暴潮位重現期便會是一組曲線，並且在不同重現期將呈現出一個範圍的暴潮位，此範圍包含了各種可能發生的情境，以及其相對的或然率，並顯現出此數值的可信度範圍 (confidence

limit)，具有統計量化的意義，而且比較真實地描敘出可能的結果。目前世界先進理論和實際的做法，都趨向於將風險和未確定性合併考慮分析。

台灣港灣界大部份都習慣於計算某個控制參數的極大值，或應用極大值來分析相關統計數字，實際上在氣候變遷的急遽影響下，單一參數的極大值不見得就是真正的極大值，也不見得會造成最大的災害，因此必須整體地去考慮整個事件中，可能受影響的各個參數的發生機率，在物理上可能有聯合發生的機率時，便可應用適合的電腦程式去模擬可能發生的結果，並納入風險的機率分析和模擬中，完整地呈現出在不同情境或重現期下，所求結果的不確定值或可信度值的範圍，如此會比單一的極大值結果有意義得多。此外，這個系統分析結果可提供給可行性分析中的績效評估，以落實替代方案的評估和選擇。圖 1 和圖 2 即是一個很鮮明的示意比較，傳統的單一曲線分析方法和應用風險和未確定性概念分析方法的的不同之處。

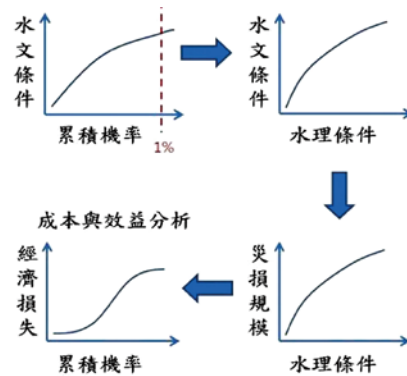


圖 1 傳統研究架構之分析方法

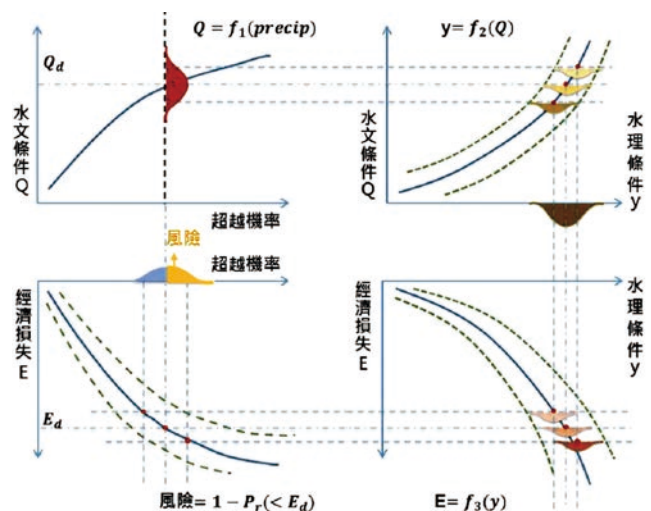


圖 2 不確定性架構下之分析規劃概念示意圖

績效評估概念

海岸防護工程都是比較昂貴的硬體工程，而且海上施工不易，可施工時程有限，耗時較長久，因此在決策上必須要依靠一個完整量化的績效評估系統，才能幫忙做最佳的選擇及有效分配有限的資源。此績效系統往往是應用於可行性評估中。

一個完整的可行性評估中，包含了計劃區的現況和相關功能效益估算，以及計劃完成後預期的功能效益估算，如此方可評估出該計劃所產生的額外功能效益，此種效益包含減少當地居民的死亡率和受影響人數、減少當地直接經濟損失和基礎建設損害、以及增加資訊的交換和防災預警資訊的提供，這些效益都將經過一個統一的轉換系統，將其轉換成當年的相等幣值，同時也將預估工程成本，如此便可估算出當年的績效值（效益／成本），此績效值將可做為決策者選擇計劃方案的參考依據。

一個完整有效的可行性規劃，除了主體工程以外，亦可包含附近的相關計劃，例如溼地復育計劃，美國加州舊金山南灣底矽谷區域的防洪計劃便包含了其沿岸鹽田的復育計劃（USACE, 2015），這是 50 ~ 100 年的復育規劃，將大片的鹽田區域逐漸引進南灣水域鹽份較低的海水，並規劃不同坡度的溼地和植背，如此希望在進行復育的過程中也能協助減少沿岸遭受暴潮和波浪的襲擊，此外，對主體防洪堤工程也能收到額外溼地復育整治的效益，這是一種多目標化的可行性規劃及整治效益。

台灣河川遭巨大颱風及強降雨襲擊之後，往往產生土石流，將大量泥砂帶往水霸或河川下游，除了產生大量地形變遷、泥砂淤積、橋樑斷毀之外，無形中也提供了河口及其沿岸額外的漂砂，若能於河道整治過程中，也考慮到周邊溼地可能需要補充的泥砂，以及河口沿岸沙灘所需養灘的砂源，如此亦可擴展整治河道工程的額外效益，而落實一個較為宏觀、實際及整體多目標性的可行性規劃和績效評估。

一個落實的績效評估系統不但要評估計劃區現況的績效，還必須評估五十年後狀況的績效（USACE, 2017），尤其在海平面有逐漸上升的趨勢下，如此才是比較實際的評估。例如五十年後計劃區狀況有某種程度的改變，以目前的設施條件，其可發揮的功能為何？

計劃完成後，在五十年後的計劃區狀況下，其可發揮的功能又為何？如此便可估出五十年後的效益，這期間亦可用十年為間距，應用相同的邏輯，估算計劃區十年、廿年、卅年、四十年後的績效值，假如所得到的結果都是正面的，則代表此計劃的設計功能和可行性是值得肯定的。反之，便需要更努力地去修改、調整，以完成一個最大績效的規劃。

一個養灘工程的規劃更能看出現況條件改變後對規劃工程的影響，尤其在漂砂和地形變遷較劇烈之處，更須做分段性的評估，因為目前現況的起始條件將被 5 年或 10 年後的改變條件取代，而必須重新設定，以落實整治工程的績效評估。台南七股潟湖外海沙洲的侵蝕便是一個很明顯的實例，由於侵蝕速度很快，若準備保留住該片沙洲以提供其內部海域較多的保障，則必須有詳細分段性的漂砂和規劃工程的整體計算，例如每 5 年或 10 年計算其沿岸沙灘的變化量，包含現況及加入的防護工程潛堤的漂砂變化量，如此才能落實規劃工程的績效評估。

海岸防護硬體工程中一般是以築海堤、潛堤或養灘等工程為主，亦即為績效評估的項目，其設計參數包含暴潮位（堤高）、波浪、海流、漂砂優勢等，亦即為績效評估中的指標參數。以下將探討比較重要的颱風暴潮位和沙灘侵淤的計算。

颱風暴潮位計算

在海岸工程中，颱風暴潮位的計算幾乎是最重要的設計參數之一。暴潮位主要包含了天文潮位和暴潮偏差及波揚。台灣東海岸海底坡度較陡，水深較深，颱風能量較不易傳遞到整層大海水中，產生巨大的颱風暴潮偏差，所以其暴潮偏差主要來自颱風中心的氣壓差所造成的。然而因為颱風波浪較大，在毫無阻擋的太平洋中逐漸增大，當其在東部近岸破碎時，其額外波浪能量便轉換成水位堆高的波揚，這是主宰東岸暴潮位的重要因子。反觀台灣西海岸，海底坡度較平緩，水深相對較淺，颱風能量較易傳遞到海水中，推動近岸的整層海水，產生較大的暴潮偏差，及非常小量的波揚，所以暴潮偏差是西海岸暴潮位的重要因子。

暴潮位是一般海堤高度設計的重要參數之一，運用先進技術方法較能計算出合理正確的結果，以供設計參考。傳統暴潮位的計算，往往因為實測暴潮位年數

有限，資料不足，不容易估算出不同重現期準確的暴潮位，因而趨向於運用較保守的極端值統計曲線去推估不同重現期的暴潮位，而可能造成過高的設計值，當資源豐富時，此種保守的方法比較容易被接受，然而資源不夠分配時，卻可能是一種浪費。尤其最近因為電腦模擬逐漸被廣泛應用，所以過去四十幾年的颱風暴潮事件都被重新模擬，並估算環島的暴潮偏差，和應用有限的計算值推估暴潮位的重現期（經濟部水利署水規所，2014），建立了相關的基本資料庫，實在進步很大。然而所模擬的颱風事件都是曾經發生過的歷史事件，並未包含未來可能發生的颱風事件，因此在統計取樣上便有改善的空間，而且因為資料有限，所以也無法對不同重現期的暴潮位做未確定性分析。

暴潮偏差和波揚

依據風險和未確定性分析的觀念，我們可以應用颱風暴潮偏差和波浪的電腦模式，模擬計劃區域各種可能發生的「合成颱風」，如此便可建立一個比較完整的暴潮偏差和碎波引起「波揚」的資料庫。在合成颱風組成的參數中，分析出其各自的發生機率，例如：颱風路徑、最大暴風半徑、最大風速、颱風中心氣壓差、颱風前進速度、登陸地點和角度等，然後應用蒙地卡羅統計模擬方法，將各個合成颱風所造成的暴潮偏差和波揚模擬 500 年，並將結果放入資料庫，如此重覆 100 次取樣、模擬各種合成颱風，便可計算不同重現期的暴潮偏差和波揚，以及相關的不確定值範圍（經濟部水利署水規所，2016-2017; Andes & Wu, *et. al.*, 2012）如此在較充分模擬資料補助下，及應用合理有效的統計分析方法下，便可求得可信度較高的結果。此外，在這個模擬架構中亦可同時加入雙颱風伴效應，颱風和季風合成效應，以及颱風和強降雨的合成效應，如此，計算出的數值將包含較完整的取樣條件和範圍，以及較大的未確定值範圍。

設計暴潮位

設計暴潮位在海堤高度設計上是一個很重要的參數，一般計算上往往是把計算出的不同重現期暴潮偏差加上認為較保守的大潮平均高潮位，求得該重現期的設計暴潮位（經濟部水利署水規所，2014），這是傳統做法的一種，也許比較固定，但可能缺乏彈性，不過很直接簡易，假如我們將計算出的暴潮偏差和波揚的發生機

率，應用統計方法加上天文潮的發生機率（包含高、低和平潮），便可求得綜合暴潮位或暴潮位的自然發生機率。然而在設計上和取樣分析時，我們往往考慮到高潮位和暴潮偏差的結合，因為颱風暴潮事件發生於低潮時不易造成災害，而不被認定是個可以取樣的重要事件，因此只有篩選適當高潮位分佈的發生機率，再和模擬計算出的暴潮偏差和波揚發生機率結合，才能求得工程設計上所需的設計暴潮位的發生機率，這種可以量化評估的適當「設計暴潮位」的做法（經濟部水利署水規所，2016 ~ 2017），可能比應用「大潮平均高潮位」的固定數值，加上暴潮偏差和波揚發生機率的作法要有彈性和意義，而且也比較合理。

效益指標參數

當一個海堤的設計暴潮位選定後，其相關的越波水量和能量、溢淹水位高度和面積範圍、以及在溢淹區再產生的波高等，將是效益評估時的指標參數，因此在不同設計暴潮位選定下，將有不同效益指標參數的對應數值，依據這些數值和公認的同等值金額轉換表，便可在計劃區估算出可能減少的人命傷亡，受影響人數，直接經濟損失，和基礎建設損害同等值的金額損失，這將是興建此海堤的效益，加上該海堤工程費成本估算後，便可量化此海堤興建的績效，亦即（效益／成本）。

沙灘侵淤計算

沙灘侵淤問題基本上是由潮流、沿岸流和波浪的交互作用造成的，一般是應用計劃區域多年的波高、週期和波向發生的聯合機率，配合輸砂的運送率來推估輸砂數量、方向和優勢，如此便可約略估出沙灘的侵淤量和趨勢。

地形變遷模擬

較準確的沙灘侵淤計算是要依賴先進的三維漂砂輸送（Bever & Michael, 2013; Chou, *et al.*, 2015）和地形變遷模式（Lin, *et al.*, 2012），此種模式結合了三維的水理和二維的波浪模式，提供水體的動源，然後加上三維的漂砂傳送模式，包含漂砂沉降、再懸浮和水體的運動，將懸浮漂砂輸送到水體各處，當水體中的動量減弱時，漂砂便逐漸沉降，但是當波浪或海流動量增強時，海底的沈砂會再被揚起，隨海流傳送各處。

如此結合海流、波浪、和漂砂運動的模式，便可約略估算海域受到颱風波浪和流況作用下，其漂砂的傳輸狀況和對海岸線或海底地形造成的侵淤現象。

此外，還要配合相關的近岸水深地形測量，尤其在颱風來襲前後，和每年不同季節下的量測，如此模式才能有較好的驗證資料。因為海岸水域動力參數變化比較複雜，實測資料不易取得，所以這方面的計算不確定值範圍也不小。此外，這類計算所需的資源非常龐大，建議政府相關單位，積極鼓勵提倡在台灣本地研發此類模式，例如在台灣逐漸改善的 SUNTANS 模式（沈毅豪，2016），或改進不用付費的公開軟體模式，避免付出巨額的商業軟體費用，如此方可將有限資源做最有效的應用。

颱風漂砂模擬

一般季節性的海流和波浪的交互作用比較規律，因此其相關的輸砂量較易估算，然而颱風所造成的海流和波浪卻是比較複雜，而且每次產生的能量和造成的變化也遠大過季節性的變化，因此如何進行完整系統的模擬計算，實是一大挑戰。也許我們可以嘗試一個新的做法：亦即將季節性和颱風變化造成的漂砂量分開計算，然後再合成結果，例如我們可以先分析一年四季的季節性漂砂變化量，其次模擬颱風造成的變化量，然後將兩種變化量的結果加起來成為總變化量。合成颱風的模擬即是延續 3.0 節中的颱風暴潮位計算，因為該計算也同時估算出颱風影響下的流況，如此可連續模擬五年至十年的颱風影響，並重覆這個程序 50 ~ 100 次，便得知其影響數量和不確定值範圍。這僅是初步估算結果，因為漂砂運動和地形變遷時序尚未考慮進去，其相關的電腦模擬資源非常可觀，有待往後的持續研究和發展。

績效指標參數

沙灘穩定的整治包含離岸潛堤、攔砂堤和養灘等方法，其績效的指標參數為沙灘回淤的面積和輸砂量，以及可能產生的遊憩價值，如此在不同的工程方法下，便可估算其回淤面積和遊憩價值，進而評估其績效。航道浚挖的泥砂實是一種重要的資源，亦可考慮提供給養灘的砂源，如果能善加利用此資源，則其績效將更可擴大（Bever, *et. al.*, 2014, Lin, *et. al.*, 2013）。

預警系統的建立

在海岸防護工作中，有關海嘯和颱風暴潮、波浪的預警是非常重要的，因為天災的力量往往是不容易抗拒的，所以一個完整的預警系統和疏散措施的建立是刻不容緩的，而且這也是防災、減災的一項必要工作。

海嘯的力量是非常巨大的，除了建在海邊的核電廠需要考慮此設計參數以外，一般的海事工程因為其發生的機率非常低，所以多不予以考慮，至於對沿岸居民的保護，則以預警系統取代之，這包含了在重要區域佈設觀測站，隨時傳送出相關的訊息，提供電腦模擬和分析之用，以瞭解此種災害抵達計劃區時的狀況和時程，並做為決策者的參考，包含是否啟動警報系統和疏散到高處的計劃，所以中央氣象局應建立此項完整系統，以確保沿岸居民的安全。

巨大颱風力量造成的海水倒灌，尤其在低窪或地層下陷區域更是重要，事前的預測結果可提供給疏散計劃，以減少受災的傷亡人數和財產損失，尤其大颱風加上強降雨和漲潮時，溢淹範圍和淹水高度都會加大，所以一個準確完整的預警疏散系統是必要的。

此項預警系統的不確定性分析也是非常重要的，因為目前的科技對颱風氣象預測參數的尺度和相關的準確性都有某個程度的未確定值，尤其對巨大颱風路徑的變化，其未確定值範圍可以包含幾個沿岸城市，因此比較完整的預警系統需要包含其合理的未確定性範圍，讓可能受影響區域的居民得以事先做好預防準備工作，此種預警系統的績效指標，包含降低傷亡人數和影響到的人數，以及減少商業和建築物的受損，尤其對降低居民直接影響的績效應是最大的。

結語

當我們建立了風險和未確定性分析，和績效評估現況和 50 年後狀況的概念，以及在防洪的可行性研究中融入溼地復育等不同多目標化的規劃理念和方案以後，便可將其應用到海岸防護工程的規劃項目和設計參數中，積極開發及應用先進的電腦程式和統計模擬方法，計算較完整的颱風暴潮偏差和波揚的重現期和未確定值範圍，以及較容易量化評估的「設計暴潮位」，和沙灘侵蝕量和範圍等結果，供海岸防護工程規劃的參考，以及協助決策者，較容易做出明確合理的替代方案選擇。

最後，政府相關單位應儘早建立一個完整正確的海嘯、颱風降雨、淹水預警系統和高效率的疏散對策，以確保沿岸居民生命、財產的安全。

參考文獻

- Andes, L.F., F. Wu, J. Lo, M. L. MacWilliams, C. Liu, and R. Dean, Estimate of Coastal Flood Statistics for the Far South San Francisco Bay, International Conference for Hydroscience and Engineering, Orlando, Fl. 2012.
- Bever, A. J. and M. L. MacWilliams, Simulating Sediment Transport Processes in San Pablo Bay Using Coupled Hydrodynamic, Wave and Sediment Transport Models, Marine Geology, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2013.06.012>
- Bever, A. J., M. L. MacWilliams, F. Wu, L. F. Andes, and C. Conner, Numerical Modeling of Sediment Dispersal Following Dredge Material Placement to Examine Possible Augmentation of the Sediment Supply to Marshes and Mudflats, San Francisco Bay, USA, PIANC World Congress San Francisco, USA, 2014.
- Chou, Y. J., R. C. Holleman, O. B. Fringer, M. T. Stacey, S. G. Monismith, and J. R. Koseff, Three-Dimensional Wave-Coupled Hydrodynamics Modeling in South San Francisco Bay, Journal of Computer & Geosciences 85 (2015) 10-21 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2015.08.010>)
- Lin, L., H. Li, F. Wu, and L. F. Andes, Littoral Transport Modeling for Ocean Beach and San Francisco Bight, California, 33rd International Conference on Coastal Engineering, Santander, Spain, 2012.
- Lin, L., H. Li, F. Wu, L. F. Andes, Numerical Modeling of Coastal Dredged Material Placement Study at Noyo Harbor, Ca, Conference of International Society of Offshore and Polar Engineers, 2013.
- Lin, N., K. A. Emanuel, J. A. Smith, and E. Vanmarcke, Risk Assessment of Hurricane Storm Surge for New York City, Journal of Geophysical Research, vol. 115, D18121, doi:10.1029/2009JD013630, 2010.
- U. S. Army Corps of Engineers (USACE), Guideline for Risk and Uncertainty Analysis in Water Resources Planning, Vol. I and II, 1992.
- U. S. Army Corps of Engineers (USACE), Risk Based Analysis for Evaluation of Hydrology/Hydraulics, Geotechnical Stability, and Economics in Flood Damage Reduction Studies, ER 1105-2-101, Washington, D. C., Revised January 2006.
- U. S. Army Corps of Engineers (USACE), USACE Shoreline Study, 2013.
- U. S. Army Corps of Engineers (USACE), South San Francisco Bay Shoreline Study - Monitoring and Adaptive Management Plan for Ecosystem Restoration (App. F), 2015.
- U. S. Army Corps of Engineers (USACE), Preliminary Feasibility Study for South San Francisco Bay Shoreline Economic Impact Areas 1-10, Santa Clara Valley Water District, 2017.
- Yen, B. C. and Y. K. Tung, Reliability and Uncertainty Analysis in Hydraulic Designs, ASCE, New York, 1993.
- 經濟部水利署水利規劃試驗所，一般性海堤禦潮功能檢討 (2014)。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所，海岸防護規劃不確定性應用研究 (1/2)、(2/2 初稿)，2016~2017。
- 沈毅豪，淡水河流域及其出海口輸砂之三維數值模擬，國立台灣大學工學院應用力學研究所碩士論文 (指導教授：周逸儒) (2016)。



參加 JSCE 2017 年會 @ 日本 九州



JSCE President Hisakazu OHISHI (中) 及柯武德教授 (左)



圓桌會議所有講者



擊鼓祈福



會場國旗飄揚



逕流分擔規劃 打造韌性城市 — 以嘉義縣故宮南院周邊排水路為例

Building Resilient Cities with Runoff Distribution Planning — A Case Study of Drainages for the Southern Branch of the National Palace Museum

楊松岳 Song-Yue Yang / 經濟部水利署水利規劃試驗所 正工程司
Corresponding Author, Engineer, Water Resources Planning Institute, Water
Resources Agency, Ministry of Economic Affairs

陳葦庭 Wei-Ting Chen / 以樂工程顧問股份有限公司 執行長
Chief Executive Officer, Elite Engineering Consultants

林政浩 Cheng-Hao Lin / 以樂工程顧問股份有限公司 經理
Manager, Elite Engineering Consultants

近年來台灣在全球氣候變遷及都市急遽發展之雙重影響下，既有都會區防洪系統面臨重大的挑戰。逕流分擔規劃的治理思維由線擴展到面的規劃，以達韌性城市構想。逕流分擔規劃流程首先需結合中央與地方政府成立協商平台，協調各目的事業主管機關與相關利害關係人。透過基本資料調查瞭解區域整體概況。建立整合河川、區域排水、雨水下水道、坡地排水、農田排水幹線的水文水理模式，作為後續決策之依據。分析計畫區所面臨的重要課題，並據以訂定計畫目標。逕流分擔規劃所採用的方案，除水道治理方案外，應包含土地使用方案。最後提出逕流分擔計畫，包含推動策略、措施、分工及期程，並由各目的事業主管機關共同執行推動。本研究將透過嘉義縣政府目前正辦理故宮南院周邊排水路案例加以說明。

The double impacts of global climate change and rapid urban development in recent years challenge the Taiwan's existing flood control system. The concept for runoff distribution planning are expanded from dots to planes in order to construct resilient cities. The first step of runoff distribution planning is the organization of a consultation platform between related authorizes and stakeholders. By the basic data survey, we can understand the condition of the watershed. The hydrological and hydraulic model can combine the rivers, drainage, sewer systems, and hydraulic structures as a reference of decision-making. The important issues in the watershed can be analyzed for the determent of "Flood Control Standards for Hydraulic Facilities" and "Flood Protecting Standards for Protected Areas". The runoff distribution plan, includes the channel regulation plan and the land management plan, will be implemented by authorities according the strategies, measures, assignments, and terms. The drainages for the Southern Branch of the National Palace Museum under construction by the Chiayi County Government is used as an example in this research.

前言

台灣半世紀以來，隨著人口成長迅速，以及社會與產業型態不斷變化，土地高度開發與都市化程度日趨擴大，導致集水區內不透水面積增加、降雨入滲減

少，造成河川下游洪峰增加，都會區的水災風險也隨之增加。根據內政部 2016 年統計，全台 6 個直轄市的總人口佔全國人口 69% 以上，顯示人口高度集中於都市。2011 年，國家科學委員會所提出「臺灣氣候變

遷科學報告」^[1]，引用臺灣氣候變遷推估與資訊平臺計畫 (Taiwan Climate Change Projection and Information Platform Project, TCCIP) 之資料，針對臺灣地區平均長期變化趨勢，以及極端事件變異特徵進行統計分析，其成果顯示與其他國家相較，臺灣受到氣候變遷影響程度甚高。此外，極端強降雨不再只限於颱風事件，包括以往在臺灣較不易造成災害的梅雨鋒面，降雨強度亦大幅提高。2013 年，根據政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 第五次評估報告 (Fifth Assessment Report, AR5)^[2]，顯示氣候系統的暖化已是毋庸置疑。從 1950 年起，許多在過去數十年，甚至數千年間都未曾發生過的氣候變化被觀測到，例如大氣暖化、海洋暖化、冰雪量減少、海平面上升，以及溫室氣體濃度增加等。隨著全球地表平均溫度增加。在 21 世紀，受季風系統影響的區域可能會增加。雖然，季風的強度可能會減弱，但隨著大氣濕度的上升，季風降雨的強度可能增加。

台灣大型河川及區域排水以往由臺灣省水利局持續有系統的治理，使外水溢淹問題獲得明顯得改善，包括 1986 年至 2003 年「全省河海堤整建計畫」及「區域排水改善工程計畫」、2004 年「河川環境營造計畫」及「區域排水整治及環境營造計畫」。然而，地方管轄之縣市管河川及區域排水，卻因為經費及人力不足，長期缺乏整治，淹水問題未有效控制。為改善上述問題，2006 年行政院核定「易淹水地區水患治理計畫」^[3]，計畫期程 8 年，總經費達新臺幣 1,160 億元，計畫內容包含上游集水區治山防洪、山坡地水土保持、中下游之河川及排水整治、市區雨水下水道、農田排水等。行政院為延續「易淹水地區水患治理計畫」之治水成效，於 2013 年 12 月 20 日通過「流域綜合治理計畫」^[4]，編列 6 年 660 億元持續辦理易淹水地區之治水工作，在計畫中並提出逕流分擔與出流管制之創新作為。

台灣以往河川排水治理的規劃思維以防止外水溢淹為主，透過兩岸築堤防洪方式，承納集水區的洪水。然而，在都會區由於土地高度的開發，位於河川排水兩岸的土地多已開發完成，如要進行水路拓寬或堤防護岸加高，用地取得不易。逕流分擔的規劃理念則是將原本全部由河川排水承納的逕流，轉變為河川排水與土地共同分擔^[5]。所涉及的單位不再只限於水利

單位，其他各目的事業主管機必須共同配合推動。本研究提出的逕流分擔規劃理念，不論在組織架構、水文水理模式、設計基準訂定、規劃方案均有別於以往的河川與排水規劃。本研究將針對兩者不同之處進行闡述，並透過嘉義縣政府目前正辦理故宮南院周邊排水路為例^[6]，加以說明。

逕流分擔規劃流程

逕流分擔的整體規劃流程如圖 1 所示^[7]。首先是擇定辦理逕流分擔的地區，例如流域內屬高度都市發展、高經濟價值、高水災風險之河川或排水。結合中央與地方政府成立協商平台，協調各目的事業主管機關與相關利害關係人。透過基本資料調查瞭解區域整體概況。建立整合河川、區域排水、雨水下水道、坡地排水、農田排水幹線的水文水理模式，作為後續決策之依據。分析計畫區所面臨的重要課題，並據以訂定計畫目標。逕流分擔規劃所採用的方案，除水道治理方案外，應包含土地使用方案。最後提出逕流分擔計畫，包含推動策略、措施、分工及期程，並由各目的事業主管機關共同執行推動。逕流分擔規劃流程與傳統的治水規劃的不同之處在於「整合」，包含機關間的整合、水系的整合、多目標的整合，以及水與土地的整合。

協商平台

一般的水道治水多以水利機關為主體，依據業務職掌研擬主管水道的治水方案。然而，逕流分擔規劃由於涉及個目的事業主管機關，因此，在計畫推動初期，必須成立協商平台。其行政程序體系仍由水利單



圖 1 逕流分擔規劃流程

位主導，成立協商平台與工作小組分別擔任協商整合與業務推動之工作。協商平台需橫向整合水利、下水道、農田排水、水土保持、土地管理、建築管理、環保、交通、防災等中央與地方相關單位。工作小組則配合辦理逕流分擔規劃之計畫審查、政策協調、困難解決、督導及管制考核等事宜。推動過程亦需與利害關係人密切溝通，可以透過說明會、討論會或工作坊等方式，強化民眾參與的機制，以利逕流分擔計畫的推動與落實^[8]。

基本資料調查

基本資料調查應包含區域概況、整體防洪系統的各級水路與重要水利構造物、歷史重大淹水事件，以及相關的上位計畫、國土計畫、區域計畫、開發計畫等。

水文水理分析

為掌握整體系統的防洪能力與風險，檢討淹水致災原因，需建立水文水理模式。傳統的水道治水所採用的水文水理模式，係由各目的事業主管機關依據主管水道之特性，擇定合適之水文水理模式，建立數值模型，依據規定的設計基準研擬相關之治水方案。然而，逕流分擔的實施區域多位於都會區。都會區排洪系統一般相當複雜，包含河川、區域排水、雨水下水道，甚至有坡地排水與農田排水。不同的水系之間互相影響，不同的水系所考量的降雨情境也不盡相同。此外，由於需要考慮土地的漫淹情況，所採用的水理模式需具有變量流動力波之水理演算能力，以呈現淹水位置、深度與延時。同時，模式內需包含河川、區域排水、雨水下水道、農田排水幹線、坡地排水、抽水站、閘門、滯洪池、重要橋梁、水庫等，完整呈現集水區水路、土地利用、地形，以及水工結構物對於排洪之影響。並透過現地水道水位或流量觀測資料進行模式之檢定及驗證，藉以修正水文水理模式，使模式更能符合現地情況。

問題分析與探討

每個地區所面臨的課題並不相同，因此，需分析計畫區所面臨的重要課題，例如高淹水潛勢地區、計畫區有重大開發計畫，或有重要之保護標的需提高保護基準。相關的課題應於工作小組充分溝通、分析與討論，並經由協調平台認可。

計畫目標訂定

針對計畫區之問題進行分析與探討後，應訂定所要達成之目標。一般的水道治水規劃，水利單位會考量易致災的型態，例如颱風、短延時強降雨，以水道為主體訂定「水利設施防洪設計基準」。原則上在此設計基準下，洪水能夠無害通過。設計基準的高低則由水道主管機關依據集水區土地利用型態、洪災損失程度，以及經濟評價等因素定之。目前國內各水利主管機關採用河川、排水、雨水下水道等設計基準均屬此範疇。「保全地區防洪保護基準」則是以特定土地為主體，原則上在此保護基準下，特定土地可以避免洪水災害。保護基準的高低，由水利或土地主管機關衡量保全對象的土地利用型態、洪災損失程度，以及經濟評價等因素定之。一般水道治理規劃，水利單位會以水道為主體訂定單一的「水利設施防洪設計基準」，作為治理規畫之依據。然而，逕流分擔所考量的水道不是單一的標的，而是包含河川、區域排水、雨水下水道、農田排水幹線、坡地排水等。同時，逕流分擔則必須衡量保全對象的重要性訂定「保全地區防洪保護基準」。由於，不同地區的立地條件與面臨課題並不相同，例如淹水災害的威脅、重大開發計畫或重要保護標的需要提高保護基準等。此部分需要工作小組充分溝通、討論與分析，並針對所面臨的課題確定要達成之目標。水利設施防洪設計基準可以依據中央主管機關規定辦理，保全地區防洪保護基準應於工作小組衡量評估其重要性與所需經費訂定，並經由協調平台認可。

逕流分擔規劃

一般的水道治水規劃的治水方案以水道治理方案為主。逕流分擔的實施區域多位於都會區。都會區排洪系統一般相當複雜，包含河川、區域排水、雨水下水道、坡地排水與農田排水等。由於計畫區內各級水道多數已完成治理規劃，因此，水道治理方案應以原規劃方案為主。若原方案有窒礙難行時或有不足時，可提出檢討方案。土地使用方案則是逕流分擔規劃另一重點，規劃流程如圖 2 所示。

逕流分擔空間盤點與篩選

首先盤點計畫範圍內可作滯洪設施使用，並且較易取得之土地為標的，例如公營事業土地、中大型公

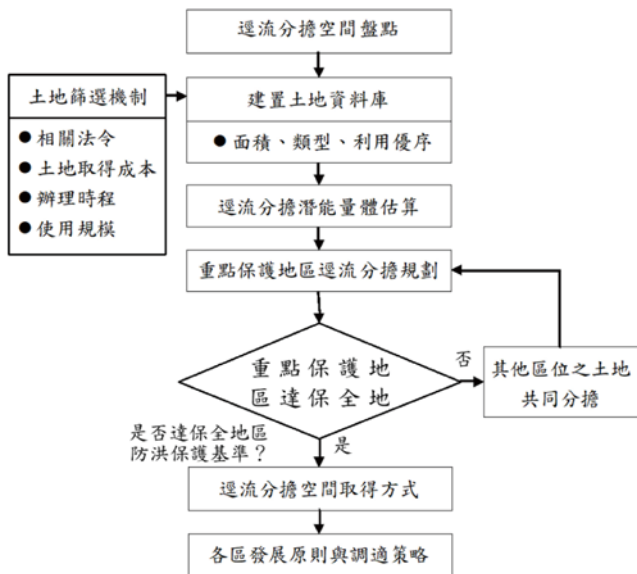


圖 2 土地使用方案規劃流程^[7]

有非公用土地、低度利用公共設施用地及公共設施保留地等，以瞭解土地使用方案可利用之土地供給總量與用地座落區位。並考量土地取得難易度（如成本、時程等）及法令可行性（如容許使用、徵收目的是否相符等）後，綜合評估優先順序，以作為辦理逕流分擔規劃之基礎。

重點保護地區逕流分擔規劃

針對未達保護基準之地區，配合已盤點之逕流分擔空間，結合水道治理方案，以及土地使用策略，降低地區淹水風險，確保保全地區達到防洪保護基準。若計畫區內可利用之土地或滯蓄洪空間不足時，可評估能否由計畫區外之土地共同分擔逕流。

逕流分擔空間取得

針對可作為逕流分擔使用之公共設施用地及公有非公用土地，可採用撥用、徵收、協調同意使用、專案讓售或增額容積等方式，取得所需土地。或透過變更都市計畫，於區域計畫指認為設施型分區方式，以取得所需用地。

土地策略分區

依據計畫區淹水潛勢或都市發展程度等因子，區分土地策略分區，並訂定各分區之策略主軸及執行措施。

未來相關策略與執行措施可以納入縣市國土計畫，以具體落實。

逕流分擔計畫

依據逕流分擔規劃所研擬的水道治理與土地使用方案，訂定推動策略、措施、分工與期程等，並協商各目的事業主管機關共同執行。

案例研究

區域概述

本案例為包含故宮南院及其周邊排水如圖 3 所示，計畫面積約為 11.6 km²。位於朴子溪、荷苞嶼排水、新埤排水間，範圍內多為都市計畫區，包含嘉義縣治所在地、擴大縣治及高鐵嘉義車站特定區，以及樂活產業園區、微型文創園區等重大建設計畫。此外，位於計畫區外西南側的馬稠後工業區。目前各項開發建設與公共設施正持續興建中。因此，計畫區的水環境正面臨都市化的挑戰。

本計畫區由於局部天然地勢較為低窪，加上全球氣候變遷的影響下，近年數場颱風造成本區水災災害，例如 2008 年卡玫基颱風、2009 年莫拉克颱風、2013 年康芮颱風、2015 年杜鵑颱風等，其中在 2009 年莫拉克颱風，由於荷苞嶼排水雙溪口排水與大糠榔支線以西的範圍，因地勢低窪，受感潮影響，在城內水無法排除，而造成大範圍淹水，淹水面積約 2,425 公頃，平均淹水深度約 0.3 ~ 1.0 m^[6]（如圖 4 所示）。



圖 3 計畫範圍圖^[6]



圖 4 計畫範圍近年重大洪災淹水範圍分布圖^[6]

水文水理分析

本計畫採用荷蘭 WL|Delft 所發展的 SOBEK 模式，透過水文與水理耦合模式進行水文水理模擬。本計畫建立朴子河流域的水文水理模式進行分析，包含河川、區域排水、雨水下水道、農田排水，以及水利建造物等，並透過現地水位觀測資料進行模式之檢定及驗證。

問題分析與探討

透過 SOBEK 模式模擬的結果可以發現，故宮南院周邊的微型文創園區與樂活產業園區，現況為地勢低窪之農地，排水出口受到朴子溪外水（10 年重現期距外水位 EL.9.55 m）影響範圍，淹水潛勢甚高（如圖 5 所示）。此外，目前規劃開發之擴大嘉義縣治 2、3、4 期開發區，經農場排水蒐集匯至朴子溪之集水區域，在開發後規劃改經由嘉義縣治雨水下水道系統排放至大糠榔支線。造成大糠榔排水出口 10 年重現期距洪峰量由 49.02 cms 增至 66.63 cms；頂港墘排水出口 10 年重現期距洪峰量由 60.46 cms 增至 83.77 cms^[6]，需透過減洪設施降低對周遭排水系統衝擊（如圖 6 所示）。

計畫目標訂定

在本計畫河川及排水設施設計基準之治理目標主要採用現有設計基準。雨水下水道考量本區為嘉義縣治所在地，採 5 年重現期距設計基準。農田排水部分，除位於重大建設計畫範圍之蔗埕排水、農場排水、大糠榔排水提高設計基準達區域排水設計基準（10 年重現期距）外，其餘農田排水維持中央主管機關所訂定之設計基準。本計畫區水利設施防洪設計基準計畫如表 1 所示。

本計畫區內重大建設包含嘉義縣治所在地暨擴大縣治所在地都市計畫

區、高速鐵路嘉義車站特定區、故宮南院院區、微型文化創意產業園區。計畫區外則有樂活有機園區、蒜頭糖廠、馬稠後產業園區。其中故宮故宮南院本館為 200 年重現期距、園區內為 100 年重現期距。都市計畫區與馬稠後產業園區之防洪保護基準採 50 年重現期距，其他開發計畫則採 25 年重現期距防洪保護基準為目標，如表 2 所示。

逕流分擔規劃

水道治理方案

本計畫的水道治理方案以原規畫方案為主，如圖 7 所示。

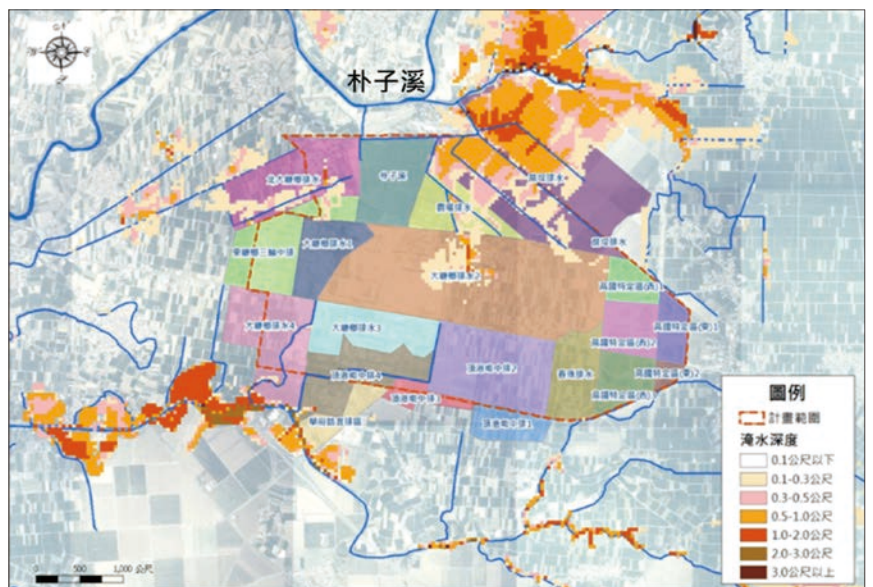


圖 5 現況 10 年重現期淹水模擬成果^[6]

土地使用方案

(1) 逕流分擔空間盤點與篩選

透過套繪都市計畫土地使用分區與計畫區內集水分區，以 0.5 公頃作為篩選標準，就計畫範圍內公共設施用地進行篩選，如圖 8 所示。

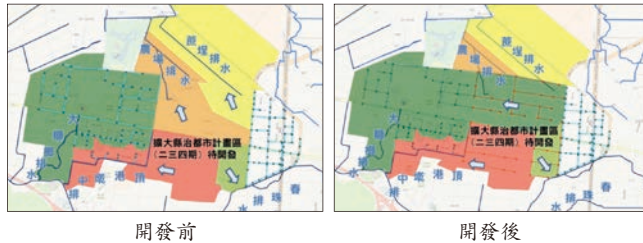


圖 6 土地開發前後排水路及排水分區^[6]

表 1 水利設施防洪設計基準（以故宮南院周邊排水路為例）^[6]

種類	名稱	名稱	防洪設計基準計畫目標	備註
河川	中央管河川	朴子溪	100	-
排水	區域排水	荷苞嶼排水、新埤排水、春珠排水	10~25	10年重現期有50公分出水高，25年重現期不溢堤
	農田排水	蔗埕排水、大糠椰支線、農場排水	10~25	10年重現期有50公分出水高，25年重現期不溢堤
	雨水下水道	嘉義縣治所在地都市計畫下水道、擴大嘉義縣治所在地都市計畫下水道、高速鐵路嘉義車站特定區計畫下水道	1~5*	-

註：* 採用短延時降雨強度設計。



圖 8 逕流分擔空間盤點（以故宮南院周邊排水路為例）^[6]



圖 7 本計畫的水道治理方案^[6]

表 2 保全地區防洪保護基準（以故宮南院周邊排水路為例）^[6]

種類	名稱	項目	防洪保護基準計畫目標
都市計畫區	嘉義縣治所在地暨擴大縣治所在地都市計畫區	區域防護基準	50年重現期距不致發生積淹事件
		高速鐵路嘉義車站特定區	車站本體：基地高程200年重現期距洪水位以上 站外其他區域：50年重現期距不致發生積淹事件
重大開發案	國立故宮博物院南部院區	博物館本館	基地高程200年重現期距洪水位以上（以鄰近朴子溪測站洪水位為參考基準）
		園區內之館外土地	100年重現期距洪水為保護標準
	微型文化創意產業園區	區域防護基準	25年重現期距不致發生積淹事件
	樂活有機園區	區域防護基準	25年重現期距不致發生積淹事件
	蒜頭糖廠	區域防護基準	25年重現期距不致發生積淹事件
馬稠後產業園區	區域防護基準	50年重現期距不致發生積淹事件	

(2) 重點保護地區逕流分擔規劃

依土地使用分區特性與開闢情形，研擬導入方案原則構想，如表 3 所示，並依其導入構想及逕流分擔空間盤點成果，研擬各公共設施用地導入方案構想如圖 9 所示。將水道治理方案與土地使用方案建置於水文水理模式中，進行不同重現期距的淹水模擬，檢核是否達到保全地區保護基準（如圖 10 所示）。以 100 年重現期距為例，新埤排水集水區的淹水面積可以由 232.8 公頃，減輕為 140.0 公頃。荷苞嶼排水集水區的淹水面積可以由 42.08 公頃，減輕為 4.8 公頃^[6]。



圖 9 土地策略分區^[6]

(3) 土地策略分區

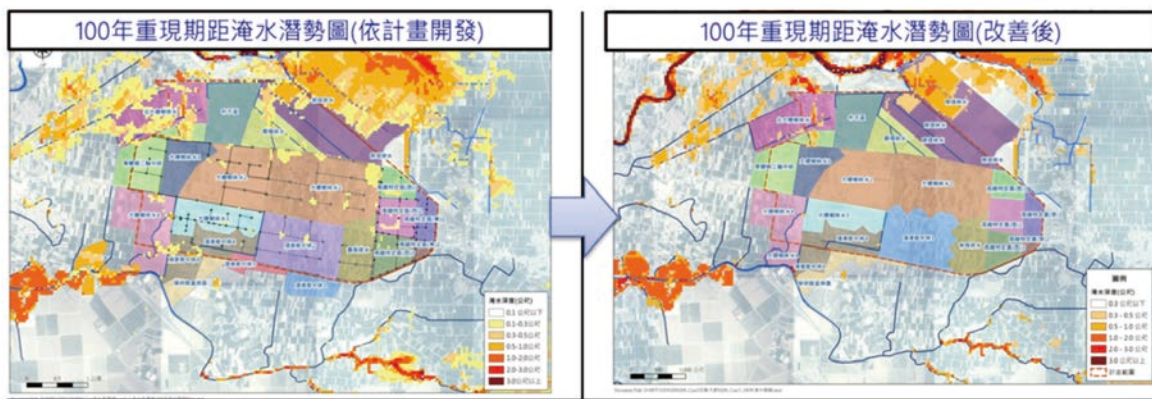
將計畫區依據淹水潛勢與都市發展程度區分為三區土地策略分區（如圖 11 所示），並訂定各分區之策略主軸及執行措施（如圖 12 所示）。未來相關策略與執行措施可以納入縣市國土計畫，以具體落實。

逕流分擔計畫

本計畫將依據逕流分擔規劃所研擬的水道治理與土地使用方案，訂定推動策略、措施、分工與期程等，並協商各目的事業主管機關共同執行。嘉義縣政府水利處邀集相關單位，包含經濟發展處、教育處、農業處、嘉南農田水利會、台糖公司等，成立工作小組與協商平台（如圖 13 所示）。

表 3 各土地使用分區導入方案原則構想（以故宮南院周邊排水路為例）^[6]

土地使用分區	開闢情形	導入方案原則構想
		已開闢
學校用地（文高、文中、文小、文中小）	未開闢	(1) 導入 LID 低衝擊開發設施；(2) 採場下方規劃設置貯水設施；(3) 公共空間採下凹式設計，提供滯蓄水空間
	已開闢／未開闢	(1) 導入 LID 低衝擊開發設施；(2) 採場下方規劃設置貯水設施；(3) 公共空間採下凹式設計，提供滯蓄水空間；(4) 設置小型滯蓄洪池
機關用地、社教用地、文教用地、遊客服務中心、汙水處理廠用地、環保設施用地	已開闢／未開闢	均以導入 LID 低衝擊開發設施為主
體育場用地、運動場用地	已開闢	導入 LID 低衝擊開發設施
	未開闢	採多目標使用，於不影響原規劃機能下，使用部分用地或利用設計手法提供滯蓄洪空間
公園用地、公兒用地、綠地	已開闢	(1) 採多目標使用，於不影響原規劃機能下，使用部分用地（約 50%）設置滯蓄洪設施；(2) 公共空間採下凹式設計，提供滯蓄水空間；(3) 導入 LID 低衝擊開發設施
	未開闢	(1) 採多目標使用，於不影響原規劃機能下，使用部分用地（約 50%）設置滯蓄洪設施；(2) 變更為公園兼滯洪池用地，使用部分用地（約 50%）設置滯蓄洪設施
停車場用地、廣場用地、廣場兼停車場用地	已開闢／未開闢	(1) 導入 LID 低衝擊開發設施；(2) 公共空間採下凹式設計，提供滯蓄水空間



計畫區與鄰近區位逕流分擔方案改善後淹水潛勢模擬成果比較表

單位：公頃

淹水	新埤排水			荷苞嶼排水		
	計畫100YR	改善方案100YR	改善程度	計畫100YR	改善方案100YR	改善程度
0.3-0.5m	68.8	64.32	4.48	7.68	2.24	5.44
0.5-1.0m	136.32	69.44	66.88	19.68	0.64	19.04
1.0-2.0m	27.36	5.92	21.44	14.56	1.76	12.8
2.0-3.0m	0.32	0.32	-	0.16	0.16	-
總計	232.8	140.00	92.8	42.08	4.80	37.28

圖 10 逕流分擔方案改善前後淹水模擬比較^[6]

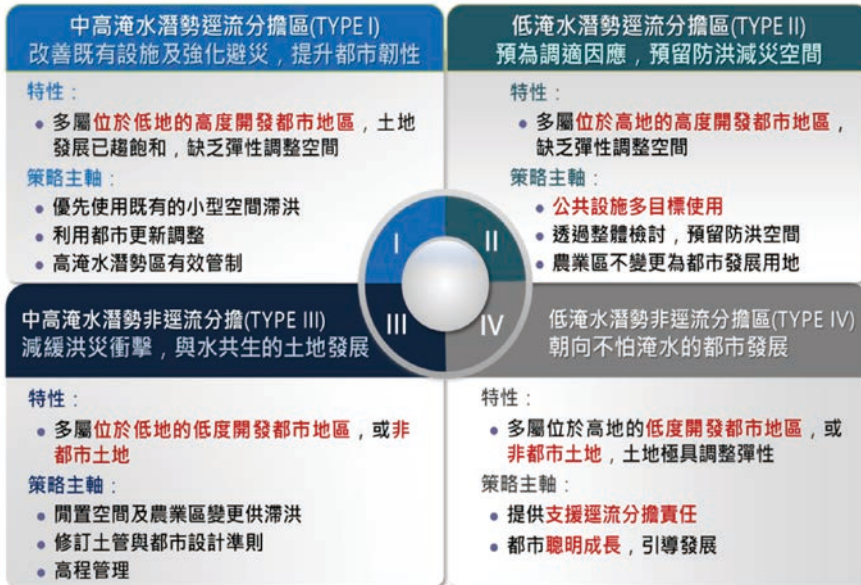


圖 11 各土地策略區策略主軸示意圖^[6]

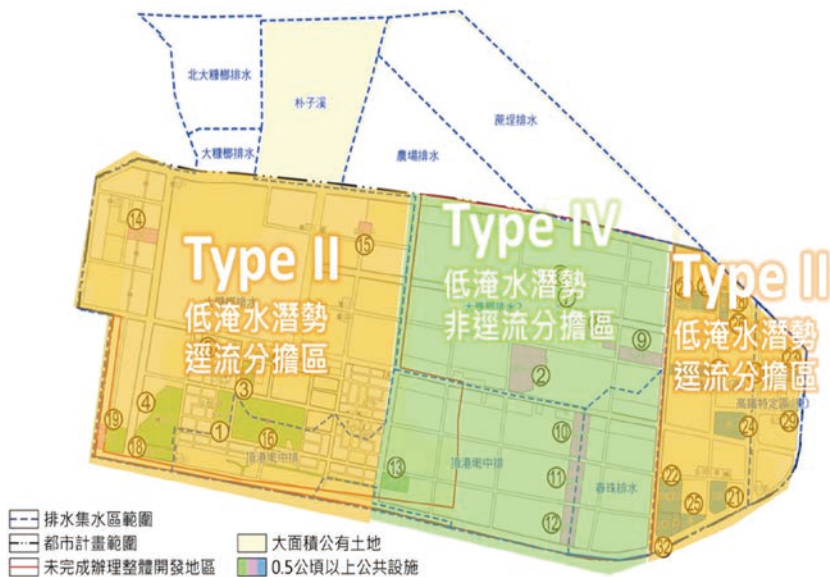


圖 12 土地策略分區^[6]

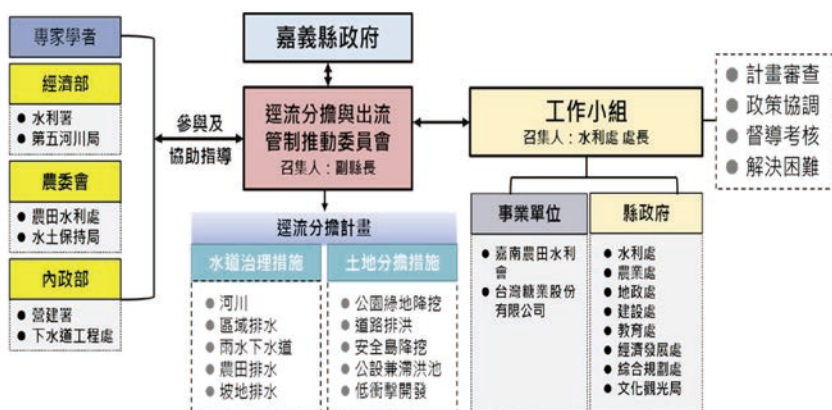


圖 13 協商平台與工作小組架構圖^[6]

結 論

「整合」是逕流分擔規劃的靈魂，呈現在行政組織整合、水系整合、多目標的整合，以及水與土地的整合。這也是逕流分擔規劃所採用的規劃理念與方法，有別以往的防洪治理規劃之處。該政策之推動除了確保河川排水治理工程之永續外，透過滯蓄洪池、雨水貯流、地表入滲、與低衝擊開發設施，將讓土地恢復天然的水循環功能，達到水質淨化、微氣候改善等目的。經濟部水利署為加速政策落實與推動，目前積極推水利法修法工作。為因應未來環境的變化與氣候的變遷，逕流分擔計畫將會納入定期檢討機制。

誌 謝

本研究感謝經濟部水利署「流域綜合治理計畫」經費支持。

參考文獻

1. 行政院國家科學委員會，臺灣氣候變遷科學報告（2011）。
2. 科技部，氣候變遷 2013：物理科學基礎—給決策者摘要（審定中版本）（2013）。
3. 經濟部，易淹水地區水患治理計畫（核定本）（2006）。
4. 經濟部，流域綜合治理計畫（103～108年）（核定本）（2013）。
5. 經濟部水利署，逕流分擔與出流管制綱要計畫（2016）。
6. 嘉義縣政府，逕流分擔與出流管制規劃報告—以故宮南院周邊排水路為例（期中報告書）（2017）。
7. 經濟部水利署，逕流分擔與出流管制個案規制作業方式（2017）。
8. 經濟部水利署水利規劃試驗所，逕流分擔與出流管制政策宣導與民眾參與（期中報告書）（2017）。



論水利防災之親水文化重建

李文正 / 中興工程顧問股份有限公司水利工程部 工程師

在年平均降雨量高達 2,510 毫米的亞熱帶臺灣，水資源管理總會以「開源」作為優先選項。然而時代在變，環境生態保護意識漸成為社會重要價值，興建水庫不易，因此如何「節流」及讓水利工程設施「延壽」即顯相當重要，透過學校教育及社會教育推動，重建親水文化，讓國人認識水的價值、體會有水邊的生活、養成與水互動的意識，進而提升水利防災素養，促使水利工程措施彰顯更大效益，實為刻不容緩之課題。

前言

臺灣是一個自然資源相當貧乏的島嶼，國土面積只有 3.6 萬平方公里，一年平均有 2,510 毫米，但不論時間或空間分布都不平均的天賦降雨，承載著 2,346 萬的國人在此地安身立命。回顧臺灣災害防救體系發展歷程，往往是在重大災害事件發生後，即再往前跨進一步（如表 1 所示）。1964 年白河地震後，於 1965 年制訂『防救天然災害及善後處理辦法』；1994 年華航名古屋空難後，同年制訂『災害防救方案』；1999 年集集大地震後，隔年頒佈《災害防救法》。然而，從表 1 中亦可發現，1959 年時國民所得 153 美元，人口數約 1,048 萬人；但 2015 年時國民所得雖增加到 19,315 美元，但人口數卻已達 2,346 萬人，比 1959 年增加約 1,298 萬人，多出 1.24 倍，對於臺灣土地、資源利用均造成沉重的負擔。究竟臺灣北中南東，每塊土地的承載力，能住多少人？值得深思。

長年以來由於水利設施興建與水利事業經營的結果，水的穩定供應及水害的逐步減輕已有顯著的進展，再加上人口朝向都會區集中，絕大多數的人們和水的接觸逐漸僅限於日常生活中不可或缺的自來水以及偶爾遇到的洪水事件。因此，對於水所帶來的恩惠與威脅幾乎變得沒有什麼感覺，也可說是喪失了大部分的親水文化。在這種情況下，不僅難以期待人們對「水利事業」的支持，更不用說對「水資源」的珍惜或對「水環境」的保護。這個困境必須予以突破，重

表 1 臺灣災害防救體系發展歷程

年／災害事件	死亡與失蹤(人)	國民所得(美元)	人口數(萬)	體系發展
1959 八七水災	668	153	1,048	-
1964 白河地震	106	189	1,233	1965 制訂『防救天然災害及善後處理辦法』
1994 華航名古屋空難	264	11,068	2,118	1994 制訂『災害防救方案』
1999 集集大地震	2,445	12,279	2,209	2000 頒佈《災害防救法》
2009 莫拉克颱風	695	14,255	2,312	2010《災害防救法》第 3、4 次修正
2015 蘇迪勒颱風	12	19,315	2,346	2016《災害防救法》第 6 次修正

資料來源：行政院主計總處；內政部消防署、戶政司及統計處

新建立親水文化；其內涵包括認識水的價值、體會有水邊的生活、養成與水互動的意識…等。

親水文化的重建工作應從「教育」著手，可以分成學校教育及社會教育等二個部分；前者是以未來世代的中小學生為對象的紮根工作，強調基本知識的學習，透過學校教育將親水文化觀念帶入家庭；後者是針對社會大眾的推廣工作，強調實際生活的體驗。至於教材內容可包括永續理念、循環型社會概念、水與生物的大循環系統、水利設施、水圈管理、親水文化等重點。社會教育部分因涉及社會大眾價值觀、責任感的重新形塑，故宜考慮事先培養地區性領導人（例如里鄰長或社區組織幹部），由其帶動日常生活體驗，自然而然養成新的價值觀與責任感。

防災教育政策目標

根據聯合國國際減災策略組織（UNISDR）最新災害統計資料顯示：2016 年全球發生 301 場國家級災害事件（50% 與淹水有關），影響 102 個國家，造成 7,628 人死亡，影響 4.11 億人，經濟損失高達 970 億美金。而許多災害的發生卻往往在學校上課期間，致使學生受到極大的傷害。倘若學校師生都能意識到危險的存在，並且知道如何預防、應對及反應，那麼災害發生時就可以減少人員傷亡和財物損失。而在學校內學習到正確的防災教育，進行必要的調適，民眾才有可能以正確觀念去面對災害，進而達成全民防災的國家。因此，災害防救不但是政府施政政策的重要課題，也是所有國人必須面對以及努力達成的工作。「防災教育」為災害防救工作的重要基礎，從三十幾年前國內推動防救災工作開始，就充分了解加強防災教育為必須面對的課題。

2000 年 7 月 19 日《災害防救法》公布實施，經濟部為水（旱）災中央災害防救業務主管機關，負責指揮、督導及協調各級相關行政機關及公共事業執行各項水（旱）災災害預防、緊急應變及災後復原重建等工作。該法第 22 條第 2 項明文規定：「為減少災害發生或防止災害擴大，各級政府應依權責實施災害防救教育、訓練及觀念宣導」。但就災害管理觀念上，學校擔負著災害防救教育之責任，同時亦是災害來臨時之避難收容場所。但從另一方面看，學校學生卻是最需要被保護的對象，因此提供一個安全無災的校園環境，應是從事教育者必須切身投入並具體落實的課題。

教育部是掌管國內教育之指導單位，除投入防災教育、訓練及觀念宣導外，鑑於臺灣位於全球地震活動最為激烈頻繁的環太平洋地震帶上，隨時受到地震威脅，為有效降低地震所造成的災害，自 2009 年起依內政部訂頒「建築物耐震能力補強實施方案」，全面針對 1999 年 12 月 31 日（含）前興建之國中小校舍辦理耐震評估，並相繼推動「2009 至 2011 年度振興經濟擴大公共建設投資 — 加速國中小老舊校舍及相關設備補強整建計畫」、「2012 年度國中小校舍耐震能力評估、補強及設施設備改善計畫」，以及「2013 至 2016 年度國中小校舍耐震能力評估、補強及設施設備改善計畫」等；同時，也督請各地方政府以行政院一般性教育補助款指定用途，辦理老舊校舍整建工程。迄今，已完成辦理（核定）補強工程之校舍計 3,461 棟、拆除（重建）之校舍計 1,112 棟，有效提升校園安全。

然而，針對低窪地區、易淹水的學校及館所，如何將淹水潛勢資料、區域利用條件（含排水公共設施、土地利用強度、社經資料等）、基地保水設施（含綠地面積、透水鋪面、貯留滲透設計、生態溼地、雨水貯留設施、中水回收系統等）、建築物防洪功能（含地下室入口設計、機電設施、地下室防洪等）等項目納入校園安全規劃考量，強化校園基地保水及耐水災韌性能力，則屬當前校園規劃與學校建築重要課題之一。

教育部為落實防災教育到各個學習階段（包含幼兒園、國小低年級、國小中年級、國小高年級、國中、高中職、大學／專校院及社會人士），特研訂防災教育的政策目標，如下：

1. 防災知識、技能及態度的教育與實踐
2. 防災校園的建構
3. 防災共識及防災文化的建立
4. 防災工作的社會參與及分工

學校平時宜審酌災害防救作業工作，依「平時減災」、「災前整備」、「災時應變」及「災後復原」四個階段進行管理，掌握學校災害特性並進行耐災能力檢討與改善，模擬災害狀況並實境動員演練，以提升學校師生災害警覺與安全意識，強化臨災時的災害應變處置作為，並加速災後收容復原及心理輔導能力，達到減少災害損失，有效提升學校災害承受力。透過防災教育在地化之落實與推廣，影響家庭、社區及社會，植根全民防災能力。

水利防災素養指標

穩定供應質量足的用水、維護保育水環境及發展水資源事業是水資源管理主要的任務。在年平均降雨量高達 2,510 毫米的亞熱帶臺灣，水資源管理總會以「開源」作為優先選項。長久以來，我們興建埤塘、水庫以蓄豐濟枯；運用越域引水以調配區域水資源；開發地下水以聯合地面水運用；興建海淡廠以降低離島供水風險。迄今臺灣已擁有完善的水利設施，似乎得以因應豐枯不均的降雨特性，足供質優、量足的水源，奠定臺灣社會與經濟發展的基礎。然而時代在變，環境生態保護意識漸成為社會重要價值，興建水庫不易，過去 15 年僅新建 2 座水庫、更新改善阿公店水庫、修復因 921 地震損毀的石岡壩；都市化快速、人口老化、高科技產業崛起，用水地區與型態迅速改變，常使水資源開發不及。

因此，如何「節流」及讓既有水利工程設施「延壽」即顯相當重要與迫切之課題。例如有水之便，當思無水之苦；排水設施公家蓋，倘若民眾沒有維護觀念，亂倒垃圾、甚至破壞，這樣很快就沒有防災效果。換言之，透過防災教育教學及宣導活動辦理，讓水利工程措施彰顯更大效益，實為刻不容緩之事。更呼應 2015 年聯合國所發布的「2015 ~ 2030 仙台減災綱領」防災工作目標，其中與防災價值直接關聯者之二要項：(1) 減少基礎設施（如交通、水電、通訊等）損害；及 (2) 提升防災資訊可及性。

由於民眾對災害認知與知識普遍不足，且防災教育目前並未列在國民教育課綱之中，為順利進行教學推動，則需建立「防災素養」指標，使編撰教材及課程活動能有所依據對應。緣此，教育部乃透過「防災科技教育深耕實驗研發計畫」（2007 ~ 2010 年）及「防災校園網絡建置與實驗計畫」（2011 ~ 2014 年）推動，擬訂我國各學習階段及中小學教師應具備之「防災素養」（相關內容請參考防減災及氣候變遷調適教育資訊網 <http://disaster.moe.edu.tw/>），其整體架構如圖 1 所示，包括「防災知識」、「防災技能」及「防災態度」三大面向，分災害知識、防備知識、應變知識、準備活動、應變能力、防災警覺性、防災價值觀及防災責任感等八個子項，茲以「水利防災」範疇說明各項名詞定義如下：

- 防災素養：對於可能造成人類生存威脅及生命危害的水利災害，具備一定程度的認識與正確的知識，並能主動的擷取水利災害相關訊息，對水利災害產生知覺且對防災具有正面積極的態度，及具備相當程度的能力與技能面對水利災害威脅。
- 防災知識：對於水利災害相關知識知悉與了解的程度，包括能了解生活環境中可能發生的災害種類、性質與因果關係，以及災害對於人類傷害的程度，並具備災害預防措施與災害應變行動的知識等。
- 防災態度：對於水利災害的關心程度、水利災害嚴重性的知覺程度、對水利防災所抱持的信念與價值觀，以及對於水利防災的責任意識等，包括具備積極的防災態度，對於災害的警覺性，能主動吸收防災相關訊息，積極參與學校或社區防災工作與防災演練。
- 防災技能：具備災前準備、災時應變以及災後復原的能力，包括水利災害發生前的各項準備工作，災變時的因應行動，以及災後復建工作的執行等。
- 災害知識：對於水利災害認識與了解的程度，包含對災害的了解、災害成因的理解，並具備災害可能造成的危險和傷害等相關知識。

- 防備知識：對於水利災害防範與防治的知識，包含如何防範災害發生、災害發生前的準備工作、如何降低災害所造成傷亡與損失的知識等。
- 應變知識：對水利災害發生時應變與發生後處置的知識，包含對於災害發生時應變方法與發生後處理程序的了解等。
- 防災警覺性：對於自身與他人安全的關心程度，包含個人能意識到環境中的危險因子，主動察覺周遭環境的改變，以及警覺環境可能發生的水利災害等。
- 防災價值觀：個人對於水利災害與防災工作所抱持的信念，包含對自身與他人生命安全的重視程度，能體認災害發生的必然性與防災工作的重要等。
- 防災責任感：個人對於水利防災工作應盡職責的認同程度，包含能認同並積極主動承擔水利防災工作責任，及履行承諾完成水利防災準備工作等。
- 準備活動：對於水利災害未發生前各項準備工作的執行能力，包含災前準備工作與防災演練的落實，以及規劃防災計畫及擬定減災策略的能力等。
- 應變能力：面對水利災害發生時與發生後，個人能產生正確的因應行為與應變行動，包含正確的避災動作與應變措施，以及災後復原復建工作的執行等。

水利防災素養檢測系統

國人普遍存在「正常化偏見」(Normalcy Bias) 的思考盲點，即人們往往會以過去累積的經驗（過去的訊息），來了解眼前正在發生的事，並且預期未來將會發生的事，因此低估災害與意外發生的可能性和影響範圍，而高估自己面對災害的應變能力。防災教育往往僅能由災難發生時，才能得知成效如何。但應於平



圖 1 防災素養架構示意圖

時，透過客觀方式，瞭解各區域之脆弱度、恢復力，以及人員因應災害之能力，針對不足之處予以改善。故亟需建立有效評量機制，並進行長時間的效果評量，據以持續檢討改善。

教育部運用前述素養指標建立防災素養檢測題庫，並分別於 2009 年及 2013 年（新增全球暖化、氣候變遷所引發的極端氣候及複合型災難等相關議題）進行大規模檢測工作，檢測結果如表 1 及表 2 所示。由於各年度之防災素養調查，並非針對同一族群持續進行，且樣本數及問卷題目也不一致，每年設定完成之議題不同，故如針對歷年素養比較，則因條件不同，其討論較不客觀，故並不直接對各年度之素養進行比較，但因各年齡層皆有其各自對應之素養指標，故即使同年段但不同樣本，未來仍可做為比較防災素養良窳之參考。

過去由於防災教育並未受到全面重視，故學校往往不會主動針對防災教育進行補強。近年來災害頻傳，小學階段較會主動將防災教育融入課程，故對提升防災素養有所幫助，但國中以上，因升學考試所需，教師授課之內容主要以課綱為主，主動將防災教育融入課程情形尚未普遍，可能因此防災素養較無成長。特別是大學階段，教育方式較為自由開放，且分科教育，多數大學校院並不會在教學中強調防災教育，也不會在校園生活中強調防災，因此大學生的「防災知識」平均表現不佳。顯見防災教育推動在愈高學習階

段愈是艱難的挑戰，融入學校課程中的成效，可能亦不易達預期目標，此即為我國未來推動防災教育亟需優先克服之處。

教師部分，因過去缺乏進修防災教育管道，對防災的學習管道又多以電視網路為主，其知識面與一般大學學生程度接近；在技能面則由於學校每年會定期進行消防及民防等訓練，故較大學專業學生為佳。此外，分析結果發現：在各類防災知識面向，受測者最熟悉地震類之災害知識，其次依序為颱風類、火災類、坡地類及綜合類之災害知識，主要係因為各級學校較常進行地震類的災害演練，因此學生及老師對於此類災害相對較為熟悉；在防災態度面向，受測者以綜合類表現最佳，其次依序為地震類、火災類、坡地類及颱風類；而在防災技能面向，受測者以地震類及綜合類表現最佳，其次依序為坡地類、火災類及颱風類。

綜上所述，國人對於水利防災素養表現普遍不佳，仍有許多進步空間，務實推動水利防災學校教育及社會教育宣導從心態扎根，確有其必要性。尤其在「前瞻基礎建設計畫—水環境建設」執行之際，如何呼應各學習階段防災素養指標，以「聽得明的話語」、「看得懂的文宣」，讓民眾對於計畫推動更加瞭解，使水環境營造符合大多數人期待，實為刻不容緩之課題。

水利從業人員與社會大眾可執行面

水資源環境從山上集水區的加強植生造林，城鄉生活地區加強環境的保護，避免任何污染地表及地下水源，河川環境的改善以減少揚塵污染及妨礙人們的生活空間，在在都必須水利從業人員與社會大眾用心全力以赴。因此，為能充分瞭解水利防災教育之推動成效，以及掌握需持續改善、強化的方向，進而研擬加強建立評量與檢討改進機制，其工作重點如下：

1. 水利防災觀念會隨著所處的環境及時間有所調整，應依實際狀況、災害潛勢特性、防災科技、防災政策等，定期進行課程教材內容編修，以符實際需求。
2. 因應氣候變遷、複合型與在地化災害，編訂水利防災教育中、小學融入課程教材、大專通識課程教材，建立完整的教材資源；研訂適切之水利防災素養評量指標與方法，並定期辦理素養調查，持續檢討調整水利防災教育推動方向與重點。
3. 全面檢討各學習階段之水利防災教育評鑑機制，並將水利防災教育成效評估納為低窪地區、易淹水學

表 2 2009 年防災素養檢測結果

防災知識素養		防災態度素養		防災技能素養	
國小低年級	66.7分	國小低年級	87.8分	國小低年級	88.6分
國小中年級	83.7分	國小中年級	88.0分	國小中年級	86.2分
國小高年級	72.8分	國小高年級	81.6分	國小高年級	87.6分
國中	58.3分	國中	81.3分	國中	80.4分
高中職	61.2分	高中職	83.4分	高中職	77.0分
大專一般科系	60.3分	大專一般科系	76.9分	大專一般科系	73.0分
大專專科系	56.0分	大專專科系	76.0分	大專專科系	70.6分
教師	61.7分	教師	78.9分	教師	83.0分

資料來源：2015 年防災教育白皮書

表 3 2013 年防災素養檢測結果

防災知識素養		防災態度素養		防災技能素養	
地震類	75.0分	地震類	84.2分	地震類	83.6分
颱風類	69.0分	颱風類	82.2分	颱風類	81.2分
坡地類	67.0分	坡地類	83.4分	坡地類	83.0分
火災類	68.0分	火災類	83.8分	火災類	82.4分
綜合類	65.0分	綜合類	84.8分	綜合類	83.6分

資料來源：2015 年防災教育白皮書

校之校務評鑑項目。

4. 定期辦理學校、館所及社區之淹水災害潛勢調查與評估，據以擬訂改善對策，降低淹水災害風險，有效維護校園師生及社會大眾安全。
5. 善用即時監測資訊，培育優質資訊詮釋人員，將可大幅降低水利防災動員成本，有效減緩重大災害衝擊，並可降低災害焦慮，對水利從業人員就如戰場上掌握敵情與敵人攻勢，對社會大眾則可提升對防災訊息的信任感。
6. 將水利防災教育納入行政院年度災害防救業務訪評之評核重點項目，俾持續提升地方政府對水利防災之重視與投入資源。

結語

綜合考量國內外近年重大水利災害經驗及防災教育推動情形，以及我國災害防救工作所面臨之挑戰。我國水利防災教育應在既有基礎上持續深化，提升水利防災素養，營造親水文化並落實各項作為，建構水綠融合、優質環境，未來展望歸納如下。

1. 強化水利防災教育相關機關橫向及縱向整合

加強跨部會間之整合、分工合作機制，共同推動各級學校及社會大眾之水利防災教育，成立定期協調會報追蹤執行。另為落實地方政府水利防災教育執行能力，除加強輔助、考核外，並於每年全國水論壇或教育相關會議，專案檢討，以落實水利防災教育之成效。

2. 深耕學校水利防災教育，提升全民水利防災能力

結合不同學習階段之水利防災教育目標，以既有水利防災教育之教材為基礎，融入環境因子，加強在地化內容，並與日常生活密切結合，利用最新學習科技，配合實做與研發，結合產學合作，提高實用性及因應水利災害的行動力。

3. 落實學校水利防災作為，建構校園安全環境

強化風險管理觀念，確實掌握環境特性與致災因子，據以擬訂具實效之災害防救計畫，並透過實際演練，持續加強改善相關措施與運作機能，以落實推動校園水利防災工作。另藉由學校與家庭、社區之互動連結，教育宣導從心態扎根，逐步擴展水利防災觀念與具體作為之影響層面，以重建生活優質、生態永續的親水文化。

4. 擴增經費來源，加強補助水利防災教育資源

多年來水利防災教育經費，大多係由教育部申請科技方案預算補助辦理，為落實水利防災教育的永續性，應擴增經費來源，編列一般公務預算，以充裕補助各縣市水利防災教育財源，併同各縣市自編預算，全面落實推動在地化水利防災教育。

5. 鼓勵各縣市落實推動在地化水利防災教育

歷年來學校水利防災教育主要多由教育部推動，期建立做為各縣市全面擴大推動之基礎，惟水利災害都有其在地性，為落實各級學校之水利防災教育，應積極補助各縣市策劃在地化之水利防災教育，達到水利防災教育全面化，並落實在地化。

6. 建立社區水利防災據點，營造地區水利防災基地

優先提高學校建築、設施與環境的抗災能力，使校園成為較安全的場所。當發生水利災害事件時，學校可成為鄰近社區的避難收容據點，提供並協助相關單位處理救災與援助事宜。同時，透過學校結合相關資源，辦理各種活動與研習，傳播水利防災觀念、知識與技能，使學校成為地區性水利防災基地。

7. 提高社會水利防災意識，提升國家抗災能力

持續推動水利防災教育，轉化社會大眾的觀念，養成尊重生命的態度，提高水利防災與安全意識，期在長期教育薰陶下，使全民擁有抗災及防救災知能，進而將防災知識及科技落實於學習與生活中。社會大眾水利防災素養之提升，有利於凝聚共識，促成維護安全與環境的制度，進而擬訂具體策略與措施，逐步改善環境與各項設施，建構有效的水利防災網絡，營造具高度抗災能力的安全國家。

參考文獻

1. 教育部 (2015)，2015 年防災教育白皮書，<http://disaster.moe.edu.tw/Safecampus/Main/index.aspx>。
2. 顏清連 (2015) 論永續水利事業，土木水利第四十二卷第三期。
3. 李文正 (2015) 災害管理，教育部防災師資培育教材—基礎課程 ①。
4. 教育部資訊及科技教育司 (2014)，101 年度校園師生防災素養檢測計畫。
5. 教育部顧問室 (2010)，98 年度師生防災素養檢測及成效評估計畫。
6. 全國法規資料庫，<http://law.moj.gov.tw/>。
7. 行政院主計總處，<http://www.dgbas.gov.tw/np.asp?ctNode=4593>。
8. 內政部消防署，<http://www.nfa.gov.tw/main/history.aspx>。
9. 內政部戶政司，http://www.ris.gov.tw/zh_TW/346。
10. 內政部統計處，<http://www.moi.gov.tw/stat/index.aspx>。



兩岸綠建築評價系統之比較

Comparison and Analysis on Green Building Assessment System in Cross-Strait

蘇 南 Nan Su / 國立雲林科技大學營建工程系 教授

Professor of Construction Engineering Department, National Yunlin University of Science and Technology

羅舒晏 Shuyan Luo / 南京工業大學土木工程學院 碩士

Master of Civil Engineering School, Nanjing Tech University

近年來，由於人類因長期無限制的使用環境資源，造成全球暖化速度加劇，使得環境污染問題日益突出，與生活息息相關的建築被列為造成氣候變遷的主要產業之一。如何在建築的興建、營運、維護到拆除之全生命週期中，節能減碳，使建築物永續發展逐漸成為發展的方向，綠建築成為解決以上問題的有效方法之一。本文旨在從兩岸綠建築評價系統的發展沿革、指標內容、評估標準、等級劃分與執行方式，比較兩岸綠建築評價系統異同，分析兩岸綠建築評價系統之優勢與劣勢所在，提出綠建築評價標準制定和應用上之借鏡。

In recent years, long-term unlimited utilization of environmental resources by mankind results in acceleration of global warming and severe environmental contamination. Construction industry, closely related to our lifetime, is listed as one of the main industries of the above issues. How to promote energy conservation and carbon emissions reduction as well as sustainable development among planning, construction, operation, maintenance and demolition in life cycle for Green building which is the key to balance economic development and environment. This paper will introduce the evolution of development, content of index, criteria of evaluation, specification of grade and methods of implementation for green building assessment system in Cross-Strait. By comparing and analyzing the similarities and differences, this research will excavate advantages and disadvantages and promote the suggestion of formulation and application.

緒論

研究動機與目的

目前全球大量碳排放造成的氣候變遷，非但危害自然生態系統平衡，並且威脅人類生存。而在過去的二十多年時間里，中國大陸經濟的迅速發展也難免帶來環境的破壞，PM2.5 等問題逐漸突顯。大陸城镇化的速度加快，使得建築產業能源消耗占了總能源消耗的30%，導致能源和資源的爭議日益嚴重，所以發展綠建築成為兩岸建築企業的新趨勢。就建築產業而言，

1992年巴西里約熱內盧召開的「聯合國環境與發展大會」，使永續發展思想得到推廣，綠建築逐漸成為發展方向。何謂綠建築？綠建築（Green building）的概念就是在全壽命期內，最大限度地節約資源（節能、節地、節水、節材）、保護環境、減少污染，為人們提供健康、適用和高效的生活空間，與自然和諧共生的建築。本文目的旨在通過分析台灣綠建築評價標準之優劣勢，對比大陸在綠建築評價標準制定和應用上之不同，提出更行之有效的綠建築評價標準的建議。

研究方法

本文通過文獻分析法與比較分析法，從兩岸綠建築評價系統的發展沿革、指標內容、評估標準、等級劃分與執行方式，比較和分析兩岸綠建築評價標準的異同，發掘台灣綠建築評價標準之優勢與劣勢所在，提出大陸在綠建築評價標準制定和應用上之建議，對貫徹建築物永續發展，具有十分重要的意義。

全球各國家和地區綠建築評價系統簡介

自 1992 年在巴西的地球高峰會議之後，全球開始掀起環保熱潮，建築產業界也開始了「綠建築」運動，世界各國因應各自不同的地理、氣候、人文環境，紛紛開始建立自己的綠建築評估系統（參見圖 1）。至 2010 止，全球共發展出 26 種綠建築評估系統，並仍在持續修正、擴充中，有些甚至已經成為各國公共、大型建設的必要規範。短短二十年，這一股綠色浪潮，可說是席捲全球，遍地開花（參見表 1）。

兩岸綠建築發展與內容

兩岸綠建築評價系統的發展沿革

台灣

以全世界綠建築評估系統中，台灣的綠建築政策非常先進，是一匹黑馬。1999 年政府建立以「生態、節能、減廢、健康」為主軸的「綠建築標章制度」（Ecology, Energy Saving, Waste Reduction, Health EEWH），稱為 EEWH 系統（參見表 2）；係全球第一個獨自以亞熱帶建築節能為特色而發展之系統，亦是亞洲第一個綠建築評估系統，綠建築在台灣永續發展中已成

為了最重要的一環。2001 行政院核定實施「綠建築推動方案」，要求總工程經費五千萬元以上的新建公有建築必須取得「候選綠建築證書」，即由公有建築帶頭示範，民間業界依其意願自由跟進，使得台灣綠建築迅速發展。2012 年，內政部建築研究所為提升綠建築技術並擴大評估範疇，滿足不同綠建築類型，依建築使用類型完成綠建築分類評估體系，構建完成「綠建築家族評估體系」，簡稱「五大家族」。分別為「綠建築評估手冊—基本型（EEWH-BC）」、「綠建築評估手冊—住宿類（EEWH-RS）」、「綠建築評估手冊—廠房類（EEWH-GF）」、「綠建築評估手冊—舊建築改善類（EEWH-RN）」及「綠建築評估手冊—社區類（EEWH-EC）」（參見表 2）。同時因應社會需求、產業結構轉化的趨

表 1 世界綠建築評估系統發展歷程

年份	國家及地區	制定單位	評估系統
1990	英國	英國建築研究所（BRE）	BREEAM
1995	美國	美國綠建築評議會（USGBC）	LEED
1998	加拿大	自然資源部（Natural Resources Canada） ¹	GB Tool
1999	台灣	內政部建築研究所（ABRI）	EEWH
2002	日本	國土交通省（MLIT）	CASBEE
2002	澳洲	澳洲綠建築委員會（GBCA）	NABERS & Green Star
2006	中國大陸	中華人民共和國住房和城乡建设部	綠色建築評價標準
2010	中國香港	香港綠色建築議會（HKGBC）	BEAM Plus

1. 「GB tool」是由 1996 年加拿大自然資源部發起、並有 13 個國家參加的國家合作行動中產生的。
- 2 澳洲主要執行的綠建築評估有 NABERS & Green Star 兩種，彼此相輔相成。（資料來源：本研究整理）



圖 1 世界上擁有綠建築評估系統的國家及地區

（資料來源：內政部建築研究所「綠建築評估手冊—基本型 2015 版」）

勢，評估內容與操作實務不斷更新改進，最新版本為 2015 版。截止至 2013 年底，台灣評定通過「綠建築標章」及「候選綠建築證書」已超過 3000 件。

中國大陸

在過去的 20 多年間，中國大陸經濟迅速發展，城鎮化的政策促使經濟和工業化發展。20 年間，到 2013 年止，城鎮化的程度達到 52.57%，目前年均城鎮化增長速率大約是 1.4%。經濟的快速發展導致能源及資源的緊湊。政府開始重視經濟發展對環境造成的嚴重影響與對能源的過度使用。城鎮化的快速發展和對生活品質提高的迫切需求使得建築物對能源的消耗逐漸加劇，其中建築物的能源消耗占了總能源消耗的 30%，中國大陸綠建築的發展是應對能源和資源危機重要的策略（參見表 3）。自 1992 年巴西里約熱內盧聯合國環境與發展大會以來，政府相繼頒布了若干相關綱要、導則和法規，大力推動綠建築的發展。2004 年 9 月建設部「全國綠色建築創新獎」的啟動，標誌著中國大陸的綠建築進入了全面發展階段，之後逐步推出一些配套方案，使其技術在中國大陸突飛猛進（表 3）。截止至 2013 年 1 月，中國大陸有 742 個建築項目，超過 75,000,000 m² 的建築成功申請成為「綠色建築」。

兩岸綠建築評價系統的指標內容

台灣

台灣綠建築評價系統以「生態、節能、減廢、健康」為四大範疇，衍生出九大指標用以綠建築評價。九大指標分別為：生物多樣性指標、綠化量指標、基地保水指標、日常節能指標、CO₂ 減量指標、廢棄物減

表 2 EEWB 綠建築家族評估系統與適用對象

專用綠建築評估系統	適用對象
一 綠建築評估手冊 — 基本型，又稱 EEWB-BC	除了下述二~四類以外的新建或既有建築物
二 綠建築評估手冊 — 住宿類，又稱 EEWB-RS	供特定人長或短期住宿之新建或既有建築物
三 綠建築評估手冊 — 廠房類，又稱 EEWB-GF	以一般室內作業為主的新建或既有工廠建築
四 綠建築評估手冊 — 舊建築改善類，又稱 EEWB-RN	取得使用執照三年以上，且建築更新樓板面積不超過 40% 以上之既有建築物
五 綠建築評估手冊 — 社區類，又稱 EEWB-EC	鄰里單元社區、新開發住宅社區、既成住宅社區、農村聚落或原住民部落、可選園區、工業區、大學城、商業區、住商混合區、工商綜合區與物流專用區等

（資料來源：內政部建築研究所「綠建築評估手冊—基本型 2015 版」）

量指標、室內環境指標、水資源指標、污水垃圾改善指標，其分屬四大範疇。

由於台灣綠建築評估手冊分為五類，為滿足不同建築類型，其所遵循的四大範疇指標也不盡相同。台灣專業分類的綠建築評估體系，具有操作簡便、經濟實惠、本土化等優勢。

中國大陸

由於建築物使用功能不同，其資源消耗與對環境的影響存在著較大的差異。2006 年版評價標準側重於評價總量大的住宅建築和公共建築中能源消耗較多的辦公建築、商場建築、旅館建築。2014 年版修訂「綠色建築評價標準 GB/T50378-2014」，將適用範圍擴展至覆蓋民用建築各主要類型。自 2015 年 1 月 1 日起執行 2014 版，原「綠色建築評價標準 GB/T50378-2006」同時廢止。又由於中國大陸在氣候、環境、資源、經濟社會發展水平與民俗文化等方面都存在較大差異，因地制宜就成為綠色建築的基本原則，各省市地區也出臺了相關的綠色建築評價標準。

根據大陸「綠色建築評價標準 GB/T50378-2014」的規定，綠色建築評價指標係由節地與室外環境、節能與能源利用、節水與水資源利用、節材與材料資源利用、室內環境質量、施工管理及運營管理共 7 類指標組成，基本包括了對建築物全生命週期內各個環節和階段；其中大陸把「施工管理」類評價指標列為本次修訂新增內容。

表 3 中國大陸綠建築發展重大事件

年份	事件
2004 年	建設部「全國綠色建築創新獎」
2005 年	建設部發佈「建設部關於推進節能省地型建築發展的指導意見」
2006 年	住房和城鄉建設部頒布「綠色建築評價標準 GB/T50378-2006」
2006 年	國家科技部和建設部簽署「綠色建築科技行動」合作協議
2007 年	住房和城鄉建設部出臺「綠色建築評價細則（試行）」和「綠色建築評價標識管理辦法」
2008 年	住房和城鄉建設部組織推動綠色建築評價標識和綠色建築示範工程建設
2009 年	中國建築與科學研究院環境測控優化研究中心成立
2010 年	啟動「綠色辦公建築評價標準」編制工作
2011 年	中國綠色建築評價標識項目數量大幅增長
2012 年	財政部發佈「關於加快推動中國綠色建築發展的實施意見」
2013 年	國務院發佈「國務院辦公廳關於轉發發展改革委、住房和城鄉建設部綠色建築行動方案的通知」
2014 年	住房和城鄉建設部更新「綠色建築標準 GB/T50378-2014」

（資料來源：本研究整理）

每類指標均包含著控制項和評分項，其中控制項為必須滿足的要求，若不滿足則不可進行評分項；評分項為依據評分細則給予的分數，評定結果為分數。評價指標體系還統一設置加分項，分為性能提高、創新兩小項。綠色建築評價按照總得分確定等級。

兩岸綠建築評價系統的評估標準

台灣

由於台灣綠建築評估標準根據建築物使用目的分為「五大家族」，其中「綠建築評估手冊—基本型」為所有綠建築評估入門的基礎，適用對象包含空調型建築、學校、大型空間等其他多樣複雜的建築類型，現就「綠建築評估手冊—基本型」做簡要介紹與說明。

「綠建築評估手冊—基本型」(EEWH-BC)承襲生態、節能、減廢、健康四大範疇與九大指標的架構，同時設有「創新設計」的優惠升級辦法。因台灣存在缺水缺電之問題，故 EEWH-BC 以「日常節能指標」與「水資源指標」為必要「門檻指標」，亦即沒通過此二「門檻指標」則無法取得綠建築標章之認證。具體分級評估制度九大指標配分表如下(參見表 4)

九大指標的權重數值(並非實際計算加權得分值)為：生物多樣性指標 9%、綠化量指標 9%、基地保水指標 9%、日常節能指標 32%、CO₂ 減量指標 8%、廢棄物減量指標 8%、室內環境指標 12%、水資源指標 8%、污水垃圾改善指標 5%。由表可知，日常節能指標在綠建築評估占的比重比較大，也反映出節能減排是現在台灣社會的重要任務之一。

中國大陸

大陸綠建築評價標準中，評價指標體系 7 類指標的總分均為 100 分。7 類指標各種的評分項得分 Q₁、Q₂、Q₃、Q₄、Q₅、Q₆、Q₇ 按參評建築該類指標的評分項實際得分值除以適用於該建築的評分項總分再乘以 100 分計算。加分項 Q₈ 按相關規定確定。

綠建築的總得分按下式進行計算，其中評價指標體系 7 類指標評分項的權重 ω₁~ω₇ 按下表取值(參見表 5)。

$$\Sigma Q = \omega_1 Q_1 + \omega_2 Q_2 + \omega_3 Q_3 + \omega_4 Q_4 + \omega_5 Q_5 + \omega_6 Q_6 + \omega_7 Q_7 + Q_8$$

由此可知，中國大陸對於「節能與能源利用」在綠建築評價指標中的權重最大，同樣說明中國大陸對於節能減排、永續發展的高度重視。

表 4 分級評估制度九大指標配分表

四大範疇	九大指標		配分	
			指標配分 上限 b	範疇 配分
生態	一、生物多樣性指標		9分	27分
	二、綠化量指標		9分	
	三、基地保水指標		9分	
節能	四、日常 節能指標	建築外殼節能指標 EEV	14分	32分
		空調節能指標 EAC	12分	
		照明節能指標 EL	6分	
減廢	五、CO ₂ 減量指標		8分	16分
	六、廢棄物減量指標		8分	
健康	七、室內環境指標		12分	25分
	八、水資源指標		8分	
	九、污水垃圾改善指標		5分	
綠建築 創新設計	採優惠升級之認定制度			

(資料來源：內政部建築研究所「綠建築評估手冊—基本型 2015 版」)

兩岸綠建築評價系統的等級劃分

台灣

在計算受評估建築取得認證的等級時，台灣 EEWH 採取的是「對數常態分佈」來制訂分級界線，得分概率 95% 以上為鑽石級、80%~95% 為黃金級、60%~80% 為銀級、30%~60% 為銅級、30% 以下則為合格級之五等級評估系統。另外，EEWH-BC 系統對於未達一公頃基地有免「生物多樣化指標」評估值規定(其他八指標均無免評估之規定)。

中國大陸

在計算受評估建築取得認證的等級時，中國大陸「綠色建築評價標準 GB/T50378-2014」採用的是得分值來確定星級，分為一星級、二星級、三星級三個等

表 5 綠色建築各類評價指標的權重

		節地 與室 外環 境 ω ₁	節能 與能 源利 用 ω ₂	節水 與水 資源 利用 ω ₃	節材 與材 料資 源利 用 ω ₄	室 內 環 境 質 量 ω ₅	施 工 管 理 ω ₆	運 營 管 理 ω ₇
設計 評價	居住 建築	0.21	0.24	0.20	0.17	0.18	— ¹	—
	公共 建築	0.16	0.28	0.18	0.19	0.19	—	—
運行 評價 2	居住 建築	0.17	0.19	0.16	0.14	0.14	0.10	0.10
	公共 建築	0.13	0.23	0.14	0.15	0.15	0.10	0.10

1 表中「—」表示施工管理和運營管理兩類指標不參與設計評價。
2 對於同時具有居住和公共功能的單體建築，各類評價指標權重取居住建築和公共建築所對應權重的平均值。

(資料來源：中國建築工業出版社「綠色建築評價標準 GB/T50378-2014」)

級。三個等級的綠色建築均應滿足該標準所有的控制項要求，且每類指標的評分項得分不應小於 40 分。當綠色建築總得分 Q 達到 50 分、60 分、80 分時，綠色建築等級分別為一星級、二星級、三星級（參見表 6）。

兩岸綠建築評價系統的比較

依兩岸綠建築成立的背景不同，在執行方式上主要區分為自願性與強制性兩大類。台灣綠建築評估系統由內政部研究所成立，中國大陸綠建築評估系統由中華人民共和國住房和城鄉建設部成立，兩者的成立均由政府單位輔導建立，肩負執行政策的使命，由上至下推廣綠建築，再藉由獎勵、優惠等政策措施延伸影響；表 7 顯示 EEWB 與 GB/T50378-2014 評估制度執行單位之比較。

結論與建議

本文主要係比較台灣 EEWB 與中國大陸「綠色建築評價標準 GB/T50378-2014」的不同，進而對中國大陸綠建築未來學習和改進的方向提出建議。

發展概況：兩岸綠建築發展迅猛，質量與數量均呈上升態勢。

評價內容：台灣綠建築評估系統分為「五大家族」，對於不同建築評價有跡可循、參考方便。

評價標準：兩岸綠建築均設置加分項，有利於建築產業創新發展。

等級劃分：台灣對於綠建築等級區分為五等，劃分較中國大陸更為細則精準。

表 6 中國大陸星級與得分表

等級	得分
一星級	50 ≤ Q < 60
二星級	60 ≤ Q < 80
三星級	80 ≤ Q ≤ 100

執行方式：中國大陸的綠建築評價涵蓋整個建築生命週期，對建築的每個階段均有設置控制項，更符合永續發展的主題。

參考文獻

- 于健、張本義，「台灣綠建築之發展現況分析」，遠東學報，第 25 卷，第 4 期，第 443-452 頁，2008。
- 內政部建築研究所，「綠建築評估手冊-基本型 2015 版」，第二版，第一篇，第 1-8 頁，內政部建築研究所，台北，2014。
- 中華人民共和國住房和城鄉建設部，「綠色建築評價標準 GB/T50378-2014」，第一版，第二~三章，第 2~4 頁，中國建築工業出版社，北京，2014。
- 林憲德，「台灣 EEWB 與美國 LEED 綠建築分級評估系統比較研究 子計畫一：EEWB 系統對台灣與美國綠建築案例評估比較研究」，內政部建築研究所委託研究報告，2005。
- 林憲德，「台灣綠建築政策的成就」，科學發展，第 460 期，第 6-13 頁，2011。
- 粉紅豹溫事業有限公司，「綠建築 綠改善 打開綠建築的 18 把鑰匙」，第一版，第一章，第 7 頁，內政部建築研究所，台北，2012。
- 劉庭芬、陳清楠，「國內外綠建築評估系統比較」，中興工程，第 113 期，第 87 - 94 頁，2011。
- Ling Ye, Zhijun Chen, Qingqin Wang, Haiyan Lin, Changqing Lin, Bin Liu "Developments of Green Buildings Standards in China", Renewable Energy 73, pp115-122, 2015.
- Wei Yu, Baizhan Li, Xingcheng Yang, Qingqin Wang "A development of a rating method and weighting system for green store buildings in China", Renewable Energy 73, pp123-129, 2015. 

表 7 EEWB 與 GB/T50378 — 2014 評估制度執行單位比較

	EEWB	GB/T50378-2014
標章圖樣		
建立方式	政府單位輔導建立	政府單位輔導建立
案件申請方式	公有建築物為強制性申請、私有建築物為自願式申請	依各地方政府規定執行
評估階段	1) 設計階段 — 候選綠建築證書 2) 施工完成 — 綠建築標章	1) 設計階段 ¹ — 綠色建築設計評價標識 2) 運行階段 ² — 綠色建築評價標識
認證單位	財團法人台灣建築中心 1999 年成立	綠色建築評價標識管理辦公室 2008 年成立
認證有效期	1) 「候選綠建築證書」於建築物取得使用執照六個月後自動失效 2) 「綠建築標章」有效期三年	1) 「綠色建築設計評價標識」有效期一年 2) 「綠色建築評價標識」有效期三年
監督單位	內政部建築研究所	中華人民共和國住房和城鄉建設部
獎勵方式	授予獎牌、研擬配套獎勵措施	授予獎牌、依各地方政府規定執行獎勵措施
最低標準	EEWB-BC 規定「日常節能」與「水資源」兩項為「門檻指標」，其餘七項指標中必須取得二指標以上才能及格	1) 必須滿足全部控制項要求 2) 各星級對七大指標均有最低達標項數門檻

1 設計評價應在建築工程施工圖設計文件審查通過後進行。 2 運行評價應在建築通過竣工驗收並投入使用一年後進行。
(資料來源：本研究整理)



土木工程在人類文明演進中的功能

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

引言

人類文明，其演進的軌跡，從「打獵採集」、「定居」、「建立城市」、「發明文字」（書寫歷史，文明誕生）、「城邦林立」（大思想家輩出，第一次文明躍昇）、到「擴張生活領域」與「國際貿易」所衍生的「文化交流與文明接觸」（第二次文明躍昇），幾乎是18世紀以前全世界偉大文明演進的軌跡。「絲綢之路」（圖1）、「香料之路」、「羅馬之路」，代表第一次工業革命前文明發展的三大土木工程。

中華帝國，在鄭和七下西洋（1405-1433）回國之後，明成祖朱棣（1360-1424）決定鎖國，全力擴建紫禁城。

歐洲國家，從13世紀開始，持續累積龐大的社會及科技動能，例如「民主運動」（英國的「大憲章」與「光榮革命」）、「文藝復興」（Renaissance）、「宗教改革」、「科學研究」（Galileo以望遠鏡觀察天體，發表「地動說」，牛頓力學，Hutton的「地球學原理」，Lyell的「地質學原理」）、「產業科技發明」（蒸汽機，波特蘭水泥，精煉鋼）、等等。

18世紀後期，「第一次工業革命」使產業與生活模式發生革命性的演進。城市成為「人口」、「工業」、「經濟」、「科技研發」、與「創新」的樞紐（hub）。大量農民進入城市的機械化工廠就業，火車與輪船取代馬車與帆船，是機械工程為工程領域主角的時代。大



圖1 絲綢之路示意圖（洪如江攝於澳門博物館）

量的城市工程、城間道路、國際道路、等等**基礎建設** (Infrastructure)，就成為土木工程界的重大任務與貢獻之所在。

20世紀初，內燃機與電力，引發「**第二次工業革命**」。汽車與飛機，改變交通運輸模式。火車，輪船與戰艦，也多改用內燃機為動力。但最大的地景變化，是摩天大樓在城市中湧現。土木工程的新任務為：公路、機場、高樓、地下鐵路（1863 倫敦首創）、和衛生工程、等等。其中，1829 之後的自來水工程網絡，使水媒性的傳染病（尤其是霍亂）不再流行，是土木工程對人類文明的重大貢獻之一。

1947 年耶誕夜，美國貝爾實驗室 (Bell Laboratories) 的科學家們展示（通常被認定為發明）世界上第一個電晶體 (transistors)，揭開資訊科技時代的序幕。在鐵路工程方面，由於軌道、隧道、橋樑、及資訊科技（通訊及控制系統可靠度）的進步，才有城市大眾捷運系統和高速鐵路系統，成為文明國家基礎建設的必需品。資訊科技也成為提昇土木工程功能及美學品質的動力之一。

絲綢之路 (Silk Road, 簡稱絲路)

商朝出土文物的一些圖形，可能起源於美索不達米亞 (LI, 1957, **The Beginnings of Chinese Civilization**) (李濟著，萬家寶譯，民國 59 年，**中國文明的開始**)，而且可能早於商朝約千年。

大英博物館中石雕古希臘女性舞者之舞衣，薄而貼身，充分展現人體之美 (圖 2)，判斷為中國絲綢所製。中國絲綢，可能在 500BC 或更早經「絲路」輸往古希臘。

經絲路輸往歐洲的物品，除了絲綢之外，可能還有瓷器、紙、與火藥。經絲路輸入的物品，包括寶石、象牙、瑪瑙、棉花、文藝作品、等等。

漢明帝 (28AD-75AD) 10 年 (67AD)，遣使往西域大月氏求經，遇到來自天竺 (今印度) 且攜帶相當數量佛經的沙門「摩騰」和「竺法蘭」，遂以白馬馱負佛經回洛陽。明帝令建寺 (白馬寺，中國第一座佛寺)，並由二沙門翻譯佛經，加以傳播。圖 3 示白馬寺正面，圖 4 示白馬石雕像。



圖 2 石雕古希臘舞者身上舞衣，判斷為來自中土的絲綢
(洪如江攝於大英博物館)



圖 3 中國河南洛陽白馬寺正面 (洪如江攝)



圖 4 洛陽白馬寺前的白馬石雕 (洪如江攝)

唐太宗貞觀元年 (627AD)，玄奘赴印度取經，也必須先經過絲路的火焰山 (圖 5)，非常辛苦。唐高宗 (657AD – 755AD) 時代，回教經絲路傳入中國。圖 6 示中國境內段西端重鎮烏魯木齊的回教清真寺及市集。

漢 (202BC~230AD) 唐 (618AD~907AD) 文明，因為佛教與回教 (伊斯蘭教在中國的一支) 的傳入，與儒家思想、道家思想及民間信仰接觸，並相互激盪，而向上躍昇 (ascent)，為中國歷史上最強盛富裕的兩代。

除了佛教與回教之外，還有其他宗教 (例如祆教、摩尼教、猶太教、基督教)、傳入中國。進一步閱讀，參考 Hansen (2012)。

漢化佛教傳至高麗、日本、與越南，提昇「天朝」的影響力；也對這一地區，包括思想、審美觀念、人文關懷、與生活方式，產生很大的影響。

中國境內絲路沿途，佛寺 (圖 7) 與佛教洞窟 (圖 8，圖 9)、清真寺、與孔廟 (圖 10)，相互輝映，只見多元文明的和諧，少見所謂「文明的衝突」。

香料之路

香料，一直是歐洲人保存食物的必需品，早在 3,000BC 就由印度輸往歐洲，推測由陸路經波斯轉歐



圖 5 絲路的火焰山，今人立西遊記主角玄奘及門徒之雕像於路旁 (洪如江攝)



圖 6 絲路中國境內段西端重鎮烏魯木齊的清真寺及市集 (洪如江攝)



圖 7 佛教法門寺 (西安) (洪如江攝)



圖 8 古高昌國的千佛洞 (位於火焰山北坡)，佛教文物極豐富 (洪如江攝)



圖 9 敦煌莫高窟正門，中國最偉大的佛教洞窟（洪如江攝）



圖 10 儒家文廟及廟前之甘肅飛馬及馬匹雕像（甘肅武威）

洲。100AD 之後，由印度西南海岸的 Kerala 出發，經紅海、地中海東部、土耳其，再轉陸路輸往歐洲。這條香料的運輸道路稱「香料之路」(Spice Route)。

鄂圖曼土耳其帝國 (Ottoman Empire, 1299~1922) 在 1453 年攻陷康士丁丁堡 (Constantinople, 今之土耳其伊斯坦堡)，並將領域擴展至東南歐、中東、與北非；其東方為波斯帝國，再東方為印度的蒙兀兒帝國 (Mughal Empire)，都是伊斯蘭教強國，在教、科、文各方面都比歐洲國家先進；絲路與香料之路，皆被切斷。為此，葡萄牙人與西班牙人走向海洋，開創航海時代的新面貌。

羅馬之路 (Roman Roads)

羅馬共和國 (509BC~27BC) 與羅馬帝國 (西羅馬帝國 27BC~476BC, 東羅馬帝國 330AD~1453AD)，為對外侵略，廣建道路 372 條，遠達英國、埃及、和小亞細亞等地。羅馬對外侵略，固不可取；但羅馬人在 2000 多年前所建的道路、橋樑，不少到現在還是可用。

Kenneth Clark (1969) 在他的名著「Civilisation – A Personal View」之中，對法國南部的嘉德水道橋 (參見第一章圖 1、圖 2)，讚不絕口，筆者試譯如下：

「看嘉德水道橋的砌石之道，不但看到工程技術的勝利，而且也可以看出古羅馬人對法律與紀律的強烈信念」

航海時代的海上之路

海上的香料之路

15 世紀起，葡萄牙建立航海學校、天文台、燈塔、及相關圖書館，並沿非洲西海岸向南航行，於 1487 年繞過好望角，在非洲東岸建立據點，於 1498 年 5 月挺進印度，建立「海上的香料之路」。1555，葡萄牙並取得澳門作為與中國通商的根據地。

發現新大陸與環繞地球一周

西班牙的哥倫布於 1492 年發現美洲新大陸，1519 年 9 月至 1522 年 9 月，麥哲倫繞行全球一周成功。西班牙在美洲建立殖民地，取得大量白銀及黃金。

航海時代 (1500~2000, 或稱海權時代) 與大國崛起

因為經濟、財政與軍事等力量之強弱及耐久的消長，國際舞台的主角，也一再的更替。繼葡萄牙與西班牙而掘起的海上強權 (大國)，有歐洲的荷蘭、法國、英國、俄國、義大利，亞洲的日本，與美洲的美國。至於中華帝國，從鄭和七下西洋之後，就開始鎖國。參考 Paul Kennedy (1987) 與中國大陸中央電視台影集「大國崛起」。

蘇伊士運河 (圖 11)，縮短大西洋及地中海與印度洋及太平洋的海路航程至少一萬公里以上。

關係大西洋與太平洋之間的兵力調動及資源運輸的要道，巴拿馬運河 (圖 12)，由美國建造及掌控。美國東部與美國西部的海路航程縮短約 14,000 公里。



圖 11 埃及蘇伊士運河 Ismailia 段 (洪如江攝)



圖 12 巴拿馬運河，使美國東岸與西岸的海路航程縮短約 14,000 公里 (Credit NASA and JPL of USA)

傳統鐵路

1829 年，史帝文生 (Stephenson) 父子的蒸汽機火車頭 (俗稱史帝文生蒸汽機火車頭)，公司名為「火箭號」(Rocket)，經過與其他公司火車頭在實驗軌道上公開比賽獲勝，統包利物埠 (Liverpool) 至曼徹斯特 (Manchester) 5.5 英哩的鐵路工程，1830 年 9 月 15 日通車，時速約 50 公里，客貨兩用。

從此之後，由英國開始，許多國家競相大建鐵路 (包括路基、軌道系統、橋樑、隧道、車站、等等)。現代標準軌道的鐵路，時速可達 200 公里。

在一國之內，工廠因為鐵路而不必貼近原料 (包括能源，當時為煤炭) 產地，原料可以由鐵路迅速從產地或進口商港運到工廠；讓工廠貼近勞工與消費者。

軌道式捷運系統 (地鐵)

1863 年，倫敦首創軌道式捷運系統，原意為：在市民大量買汽車之前，提供了一個高品質的交通工具，就不必為拓寬街道而拆除房屋。動力電氣化之後，大幅度減少城市的空氣污染，進而大幅度減少城市居民因空氣污染而傷亡的人數。

但更重要的是，提供許多安全、舒適、及對使用者友善的空間，讓善良人性，自動自發地流露出來 (圖 13)。台北捷運系統這個工程網絡，由多種專業與使用者，共創一個城市文明躍昇的傳奇。(洪如江，2014/02)。

高速鐵路

1964 年，日本新幹線子彈火車 (最高時速 256 公里) 啟用，為高速鐵路的雛型。

2007 年，台灣高速鐵路 (最高時速 300 公里) 開始營運，使台灣成為「一日生活圈」。參考第一章圖 12。

法國的 TGV，時速從 1981 年的 380 公里開始，2007 年起，最快的高速鐵路，時速可達 574 公里。

未來的真空管火車 (Vacuum Tube Train)，時速可能高達 1,000 公里以上。

汽車之路 (公路)

在 1900 年至 2000 年之間，汽車數量的增加，可比人口的爆炸。

在美國，石油業、鋼鐵業、電子業、營造業，與汽車業者互相支持，壓迫聯邦政府撥款補助各邦多建公路、快速道路、與高速公路。這種美國「汽車文明」，也迅速傳染到世界上許多國家，許多人以擁有汽車為榮。

許多城市，已經被汽機車所佔領，台北市也非常嚴重 (圖 14)。汽機車也造成嚴重的空氣污染、土壤污染、與大量的車禍傷亡，圖 15 示台北市公車道被汽車廢氣嚴重污染的痕跡。



圖 13 台北捷運的空間：安全、舒適、對使用者友善；讓善良人性，自動自發地流露出來 (洪如江攝)



圖 14 台北市街頭的汽機車景觀 (洪如江攝)



圖 15 台北市汽車廢氣污染的痕跡 (洪如江攝)

有一些國家，例如荷蘭、丹麥、新加坡，重視環境，控制汽車的總量，或大量建設軌道系統，或鼓勵使用腳踏車。未來的汽車，最可能使用電力或氫氣。

空 路

1903 年，萊德兄弟 (Wright brothers) 試飛內燃機動力的飛機成功。

飛機的軍事威力在二次大戰中顯示出來。二次大戰後期，美國製造大量有史以來最重的轟炸機，B-29。其土木工程師，必須在最短期間內建造出大量的新機

場，以承受 B-29 的重量及体型。

因此，二次大戰後的民航運輸，就已經有相當足夠的技術、經驗、及工具 (施工機械)，迅速建設機場，進入航空運輸時代。有人以「地球變小」形容。

自來水工程

約 6000 年前，埃及的土木工程師就開鑿新鮮石塊在尼羅河築壩，支持當時埃及首都 Memphis 用水需求。

羅馬帝國的全盛時間，在其本土及征服之地，大量建設自來水工程，包括渠道、隧道、與高架橋樑，從水質潔淨的水源 (尤其是泉水)，將水輸送至許多城鎮與鄉村。313BC，羅馬建水道，自 11 公里至 19 公里之外，將潔淨的水引進羅馬城內。約 18BC，在今之法國南部 Nimes 附近，建嘉德水道橋 (Pont du Gard，高約 49 m，長約 275 m)，然後自 16 公里外的水源地，將潔淨的泉水經人工隧道引到嘉德水道橋，轉送鄰近鄉鎮。嘉德水道橋下的河水，未嘗不能使用；但當時羅馬官員及工程師，考慮鄰近鄉鎮難免排放污水入河，決定這項建設。嘉德水道橋，建成至今，已經兩千多年，依然健在。約 1 世紀之後，羅馬帝國又在今之西班牙建西歌維雅 (Segovia) 水道橋，高約 36 m，長約 823 m，至今安然無恙。

1160 年，英國開始自來水工程建設，多未經水質改良。但自工業革命之後，大量人口湧入城市，尤其是倫敦，河水污染日趨嚴重。土木工程師開始思考改良水質的方法。

1829 年，英國雀兒喜 (Chelsea) 自來水公司的工程師 James Simpson 發明「慢濾法」，原水經淨水廠「慢濾池」細沙層的過濾，幾乎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，證明霍亂與水污染有關 (Pannell, 1964)。由於細沙層的過濾，無法攔阻過濾性病毒，因此，清水送出之前，必須投入氯氣或雙氧水消毒。此後，凡普遍建立現代化「自來水工程網絡」的地區，水媒性的傳染病就不再流行。進一步閱讀，參考 Pannell (1964)。

圖 16 示大台北地區自來水的水源：翡翠水庫。圖 17 示台北市公館自來水廠混凝池。圖 18 示自來水的末端：水龍頭。世界上文明國家從水龍頭出來的自來水，可以生飲。從這一觀點而言，台灣還不能算是一個文明國家。



圖 16 大台北地區自來水的水源：翡翠水庫（齊柏林先生攝）



圖 17 台北市公館自來水廠混凝池（洪如江攝）



圖 18 自來水的末端：水龍頭

污水處理與下水道工程

城市中的家庭、工商業、公共場所、等等的污水，先進國家多已有完善的污水下水道及處理系統。接污水管至每一污染源（家庭、工商業、公共場所、等等），將污水抽送污水處理廠（圖 19 示美國桔郡工業污水處理廠局部），處理至合乎法規之放流標準，再排放至天然水域。

利用濕地（wetland，圖 20）從事先期污水處理，去污率常可達 80% 以上。



圖 19 美國桔郡工業污水處理廠局部（洪如江攝）



圖 20 美國南加州濕地，先期去污率可達 80% 以上（洪如江攝）

污水下水道系統完善之後，絕大部分家鼠及家庭昆蟲，宣告絕跡。

電力工程

電磁相關的科學研究，早在 1600 年就已經略有成就。1831 年，Michael Faraday 以磁鐵進出線圈產生電流的實驗，揭開電氣文明的序幕。

發電的能源，從水力發電開始。1838 開始，小規模的個別電力之使用，在俄國、蘇格蘭、英格蘭、德國與美國等地出現。

1882 年，愛迪生（Edison）在美國威斯康辛州的 Appleton 建成世界上第一個水力發電廠，也是世界上第一個發電廠，並在紐約商業運轉供電。

從此之後，陸續加入化石能源、核能、風力、太陽能、與地熱發電。但是，到目前為止，發電還是以燃燒化石為主；是排放二氧化碳、成為氣候劇烈變遷的主要因素。

電力的普及，對人類文明的貢獻極大，例如：

- 電燈提供「夜間照明」，人類可以在夜間讀書、寫作、工作。
- 工業生產自動化，鐵路電氣化，既提升產業功效，也大幅減少環境污染。
- 進入「資訊科技」時代，大數據分析、資訊的遠端傳遞、等等作業之「速度」與「良率」的進步，日新月異。
- 電冰箱長期保存食品的新鮮。
- 空調提供居家及工作環境的潔淨與舒適。
- 電力推動電梯、將自來水送至高樓，才可能有「摩天大樓」（例如台北 101 大樓）的出現。

圖 21 示台灣清水的一座小型水力發電廠，圖 22 為電廠內部上層的水力發電機。圖 23 為一座大型水力發電廠房的上層。

土木工程對二次大戰之後糧食供應的貢獻

美國密西西比河洪積平原，本來就是美國最大的糧倉。二次大戰之後，歐亞兩洲的糧食需求孔急。為增加糧食生產及供應，美國工兵署在密西西比河上游增建許多水閘，使得大型河運船隻，能夠開進河道的上游。整個密西西比河流域所生產的大量糧食，就能夠利用運輸成本遠低於火車（更遠遠低於汽車）的船運，迅速將大量糧食運到河口的碼頭，再交由海輪運送歐、亞兩大洲。

巴拿馬運河，節省由密西西比河口到亞洲的糧食運輸時間及成本；使得美國糧食，在亞洲佔有很大的優勢。



圖 21 一座小型水力發電廠外觀（洪如江攝於清水電廠）



圖 22 清水水力發電廠上層（洪如江攝）



圖 23 一座大型水力發電廠房上層（洪如江攝於中國大陸長江某電廠）

結論

當人類告別「打獵與採集」的生活方式而「定居」之後，土木工程以「引水灌溉」(Irrigation) 保障餘裕的糧食，使得分工成為可能；以「築城」保障安全，使得安居樂業成為理所當然。在建立城市、發明文字及書寫歷史、到城邦林立及大思想輩出，土木工程就是文明工程的主角：對內建構「人造環境」，增進「福祉」；對外以「道路」催生「國際貿易」、「文化交流」、與「文明接觸」。中華文明，因「絲綢之路」（簡稱絲路）導入佛教文化（明）、回教文化（明）、與基督教文化（明），而向上躍昇。

當 18 世紀後段開始，人類科技的首次重大突破，以蒸汽機為代表的機械工程，引發「第一次工業革命」。生活方式的巨變，使人類的歷史進入新的一頁。肩負「基礎建設」(Infrastructure) 重責大任的土木工程，也因為機械工程的助益，在城市建設、鐵路、海港、等等工程作業，如虎添翼。


20 世紀一開始，內燃機與電力的發明，引發「第二次工業革命」。塞滿摩天大樓的巨無霸城市 (Mega-City) 如雨後春筍一般，從大地冒出，混凝土叢林替代天然叢林。城市維生管線（自來水、電力、瓦斯、等等），城市各種大型交通運輸網絡，防災工程（疏洪道、滯洪池、堤防、污水處理系統、排水網絡、等等），為主要的新一代土木工程類基礎建設。教育及文化類工程（學校、博物館、音樂廳、劇院、運動場、

等等），為另一範疇的基礎建設，也有土木工程貢獻的空間。

21 世紀開始，資訊科技也成為提昇土木工程功能及美學品質的動力之一。

歐盟 (European Commission) 副主席 Tajani 宣佈 2012 年 5 月 29 日為「第三次工業革命」的第一天。在這一方面，醫學界領先開跑，功效也備受稱讚；土木工程界尚待努力。

參考文獻

1. 李濟 (LI, 1957, *The Beginnings of Chinese Civilization*, 美國西雅圖華盛頓大學出版) (李濟著，萬家寶譯，民國 59 年，中國文明的開始，臺灣商務印書館印行)。
2. 洪如江 (2007/10~), 「土木工程就是文明工程」, 台大土木系電子報；杜風。
3. 洪如江 (2006/02), 「土木工程與人類文明」, 中國土木水利工程學會, 土木水利, 33 卷 1 期。
4. 洪如江 (2012/04), 「土木工程與文化」, 中國土木水利工程學會, 土木水利, 39 卷 2 期, 46-64 頁。
5. 洪如江 (2014/02), 「城市文明躍昇的傳奇—臺北捷運系統」, 捷運技術第 48 期, 臺北市政府捷運工程局發行。
6. 虞兆中等編著, (1996), 土木工程概論, 台灣大學土木工程學系主編, 藝軒圖書出版社出版。
7. Hansen, V. (2012), *The Silk Road, A New History*, Oxford University Press. 漢文譯本：吳國聖、李志鴻、黃庭碩譯，麥田出版，台北市。
8. Kennedy, Paul (1987), *The Rise and Fall of the Great Powers*, Vintage Books, New York.
9. Pannell, J.P.M. (1964), *An Illustrated History of Civil Engineering*, Thames and Hudson, London. 



中油公司

台中液化天然氣廠二期儲槽 及氣化設施擴建工程 參訪花絮

李瑞堂、張家睿、金正果 / 液化天然氣工程處

日期：106/08/30

地點：中油公司天然氣事業部台中液化天然氣廠

台中液化天然氣廠位於台中港區 11~13 碼頭處，廠區佔地約 57 公頃，為台灣中油公司於取得台灣電力公司大潭電廠天然氣供應所興建；廠內原規劃有 3 座 16 萬公秉地上式儲槽、8 座氣化器、卸料臂、36 吋海管連接通霄與大潭等相關設備。為配合非核家園及提供未來國家未來天然氣發電整體需求，與提升對台電通霄電廠擴建及更新機組計畫天然氣供應能力，台灣中油公司規畫進行台中液化天然氣廠二期儲槽及氣化擴建工程，規畫擴建 3 座 16 萬公秉地上式儲槽、2 座氣化器、3 台二級泵及蒸發氣壓縮機。目前氣化設備已進入試車階段，而儲槽設備亦正試壓中，為工程觀摩之最佳時機，特別配合舉辦此觀摩會。

本次觀摩會在中國土木工程學會統籌安排下，中油公司天然氣事業部、液化天然氣工程處，以及台電公司積極配合辦理，使本次觀摩會順利成功。





此次主辦單位安排簡報講師及題目如下：

- (1) 中油公司天然氣事業部台中廠廠長盧宗益（液化天然氣介紹）。
- (2) 中油公司液化天然氣工程處所長李文毅（儲槽統包（EPC）工程介紹及現場參訪）
- (3) 中油公司天然氣事業部台中廠經理林俊豪（台中廠廠區觀摩）

本次觀摩主要設備項目簡介如下：

LNG 卸料臂

LNG 卸料臂是一種裝卸裝置，為接收站工程的主要工藝設備。當 LNG 專用船抵達接收站專用碼頭後，將通過此卸料臂和卸料管線，借助船上卸料泵將 LNG 送進接收站儲罐內。



LNG 地上型儲槽

目前廣泛使用的地上型 LNG 儲槽，所採用的是 16 萬公秉地上型全容力混凝土雙殼儲槽，共三座。



一級 LNG 輸出泵

第一階段之液化天然氣輸送係以裝設儲槽內的一級泵，將液化天然氣泵出，送至再冷凝器。為保持儲槽之槽壁完整，提高安全性，儲槽所有進出管線規劃皆由槽頂進出，因此一級泵規劃將採 undertake 沉浸式泵浦。規劃基準如下：

- (1) 規劃數量：每座儲槽裝置三台，其中一台備用。
- (2) 規劃數計流量：每台至少 250 噸 / 時以上。
- (3) 規劃設計壓力：至少 12 公斤 / 平方公分。



與會貴賓合影

BOG 壓縮機

在液化天然氣 (LNG) 進出時，LNG 儲罐吸收外界空氣中的熱量，儲罐內的 LNG 泵在運行過程中產生一定的熱量。在以上情況下，部分 LNG 因而蒸發為氣態，該氣體稱為 BOG (Boiling of Gas)。

BOG 的主要成分是甲烷，需要進行有效地利用。BOG 被壓縮機加壓後進入再冷凝器，被由儲罐來的 LNG 冷卻成液體後由高壓泵輸出。處理 BOG 的壓縮機稱為 BOG 壓縮機。計有往復式及離心式兩種，規劃採用往復式壓縮機，其規格如下：

- (1) 規劃數量：三台。
- (2) 設計流量：每台流量為 4,500 立方公尺 / 時。
- (3) 設計進出口壓差：1.3 公斤 / 平方公分。

LNG 二級泵


第二階段之液化天然氣輸氣輸送係以二級泵，將液化天然氣第二階段加壓，送至氣化器氣化後輸出。二級泵規劃採用儲罐型式，主要將泵浦及套筒裝置在一小型儲罐內，當液化天然氣流入小型儲罐內，經由泵浦加壓送出。

- (1) 規劃數量：九台，另規劃三台備用。
- (2) 設計流量：每台為 100 噸 / 時。
- (3) 設計出口壓力：92.3 公斤 / 平方公分。
- (4) 進出口差壓：87.2 公斤 / 平方公分。

開架式氣化設施

當液化天然氣 (LNG) 要從 -162°C ，氣化為常溫的氣態天然氣 (NG)，以汲取大量海水溫度做熱交換之物理變化方式最為經濟，每氣化 1 公噸 LNG 大約須要 20 噸 (25°C) 的海水來加溫，處理這熱量交換的設備一般為開架式氣化器 (Open Rack Vaporizer, ORV)，其規劃基準如下：

- (1) 規劃數量：六台，另規劃兩台為備用。
- (2) 規劃設計流量：每台 150 噸 / 時。
- (3) 規劃設計壓力及溫度。

本次觀摩會，學員反應良好，經過台中廠廠長、經理，以及液化天然氣工程處站區施工所所長等人的簡報，並到實地現場觀摩後，對於液化天然氣的接收到轉換輸出等有了清晰的了解，台灣目前主要兩大發電來源是核能及火力，核能發電經濟效益雖大，但伴隨著潛在風險及產生核廢料等汙染，對環境所造成的危害是無法估計的。而火力發電在國人環境意識抬頭下，所排放之 SO_x 、 CO_x 及 $\text{PM}_{2.5}$ 等更是空氣汙染元凶，於是政府在非核家園政策走向下，採用天然氣發電可以大幅減少環境汙染，無疑是最適合且刻不容緩的事；為了達到 114 年 (西元 2025 年) 每年 2,500 萬噸的天然氣供應量，興建天然氣接收站及擴建天然氣儲槽為中油公司肩負國家未來之重要任務，期許能順利完成。 

CECI



台灣世曦

工程顧問股份有限公司

www.ceci.com.tw



桃園國際機場捷運·A1車站竹林流瀑



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

台北市11491內湖區陽光街323號

No. 323 Yangguang Street, Neihu District, Taipei City 11491, TAIWAN

Tel:(02) 8797-3567 Fax:(02) 8797-3568

<http://www.ceci.com.tw> E-mail:pr@ceci.com.tw

用心
做好每一件事

匠心，才得以淬煉「專業」品質
誠心，才足以貫徹「人本」信念
悉心，才可以恢宏「關懷」情操
台灣世曦永遠以「心」為出發
持續履行對土地、對人民不變的承諾
一個環境永續的生態樂園
一個幸福溫馨的生活家園



茲附上廣告式樣一則
請按下列地位刊登於貴會出版之「土木水利」雙月刊

此致
社團法人中國土木工程學會

「土木水利」雙月刊
廣告價目表

(費率單位：新台幣元)

刊登地位	金額 (新台幣元)	敬請勾選
封面全頁 彩色	60,000	
內頁中間跨頁 彩色	80,000	
封底全頁 彩色	50,000	
封面裏/封底裏 全頁彩色	40,000	
內頁全頁 彩色 (直式)	30,000	
內頁半頁 彩色 (橫式)	15,000	
內頁 1/4 頁 彩色 (直式)	8,000	
折扣	3期9折， 4期以上8.5折	

刊登月份：

44.6 45.1 45.2 45.3 45.4 45.5 共 次
(12月) (2月) (4月) (6月) (8月) (10月)

註：稿件請提供設計完稿之廣告稿；
相片、圖片等請提供清楚原件或電腦檔。

上項廣告費計新台幣 元整

隨單繳送請查收摺據
請於刊登後檢據洽收

機構名稱： (請蓋公司印)
商號

負責人：

地址：

廣告聯絡人：

電話：

廣告訂單聯絡：社團法人中國土木工程學會 電話：(02) 2392-6325 email: mandy@ciche.org.tw

98-04-43-04

郵政劃撥儲金存款單

收款帳號	0 0 0 3 0 6 7 8	金額 新台幣 (小寫)	仟	萬	拾	萬	仟	佰	拾	元
------	-----------------	-------------------	---	---	---	---	---	---	---	---

通訊欄 (限與本次存款有關事項)

報名費
 繳納 _____ 研討會
報名費 _____ 元

繳納會費
 常年會員年費 1,200 元
 初級會員年費 300 元

訂閱土木水利雙月刊，一年六期
 國內·會員 新台幣 300 元
 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800 元
自第 _____ 卷第 _____ 期起，_____ 年期雙月刊 _____ 份

訂閱中國土木工程學刊，一年四期
 國內·會員 新台幣 800 元
 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800 元
 國外·個人 美金 40 元
 國外·機關團體 美金 100 元
自第 _____ 卷第 _____ 期起 _____ 年期學刊 _____ 份

收款戶名 社團法人中國土木工程學會

寄款人 主管：

姓名

地 □□□—□□

址

電話 經辦局收款戳

虛線內備供機器印錄用請勿填寫

◎ 寄款人請注意背面說明
◎ 本收據由電腦印錄請勿填寫

郵政劃撥儲金存款收據

收款帳號戶名

存款金額

電腦紀錄

經辦局收款戳

社團法人中國土木工程學會

信用卡繳納通知書

姓名		款 別 註：入會時請先填入會申請書，傳真學會審查，我們會立即通知您，資格符合時請繳費，入會費一人僅需繳交一次	報名費 <input type="checkbox"/> 繳納_____研討會 報名費_____元
會員證號碼			繳納會費 <input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,200元 <input type="checkbox"/> 初級會員年費 300元
身分證號碼			訂閱土木水利雙月刊，一年六期 <input type="checkbox"/> 國內·會員 新台幣 300元 <input type="checkbox"/> 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800元 自第__卷第__期起，__年期雙月刊__份
卡 別	<input type="checkbox"/> VISA <input type="checkbox"/> MASTER CARD <input type="checkbox"/> JCB		訂閱中國土木水利工程學刊，一年四期 <input type="checkbox"/> 國內·會員 新台幣 800元 <input type="checkbox"/> 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800元 <input type="checkbox"/> 國外·個人 美金 40元 <input type="checkbox"/> 國外·機關團體 美金 100元 自第__卷第__期起__年期學刊__份
信用卡卡號			白天聯絡電話
信用卡簽名欄最後三碼			通信地址
信用卡有效期限	(月/年)		
信用卡簽名			
繳費金額			

回覆請利用傳真：(02) 2396-4260 或 email：service@ciche.org.tw

回覆後請務必電話：(02) 2392-6325 確認，謝謝！

郵政劃撥存款收據

注意事項

- 一、本收據請詳加核對並妥為保管，以便日後查考。
- 二、如欲查詢存款入帳詳情時，請檢附本收據及已填妥之查詢函向各連線郵局辦理。
- 三、本收據各項金額、數字係機器印製，如非機器列印或經塗改或無收款郵局收訖章者無效。

請寄款人注意

- 一、帳號、戶名及寄款人姓名地址各欄請詳細填明，以免誤寄；抵付票據之存款，務請於交換前一天存入。
- 二、每筆存款至少須在新台幣十五元以上，且限填至元位為止。
- 三、倘金額塗改時請更換存款單重新填寫。
- 四、本存款單不得黏貼或附寄任何文件。
- 五、本存款金額業經電腦登帳後，不得申請撤回。
- 六、本存款單備供電腦影像處理，請以正楷工整書寫並請勿摺疊。帳戶如需自印存款單，各欄文字及規格必須與本單完全相符；如有不符，各局應婉請寄款人更換郵局印製之存款單填寫，以利處理。
- 七、本存款單帳號與金額欄請以阿拉伯數字書寫。
- 八、帳戶本人在「付款局」所在直轄市或縣(市)以外之行政區域存款，需由帳戶內扣收手續費。

交易代號：0501、0502現金存款 0503票據存款 2212劃撥票據託收

本聯由儲匯處存查 600,000 束 (100 張) 94.1.210 × 110mm (80g/m² 模) 保管五年 (拾大)

打造無陷空間

經濟部水利署

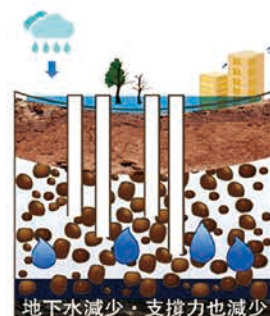
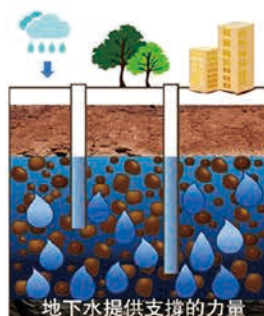


地陷防治知識小學堂

地層下陷是自然或人為因素造成地層內部壓縮，而導致地表下沉現象，臺灣地層下陷的主要原因是長期超量抽取地下水所致。

各縣市政府違法水井檢舉專線

宜蘭縣政府	03-9251-000 #8022-8026
臺北市政府	02-2720-8889 #1005
新北市政府	02-2960-3456 #4953
桃園縣政府	03-3033-602
苗栗縣政府	037-322150 #559600. 559604
臺中市政府	04-2228-9111 #53300
彰化縣政府	04-7532-719
雲林縣政府	05-5522-229
嘉義縣政府	05-3621-501
嘉義市政府	05-2162-988
臺南市政府	06-6331-455
高雄市政府	07-7995678 #2172
屏東縣政府	08-7339-202
澎湖縣政府	06-9264-620



更多地陷相關資訊 · 請至以下網站搜尋



經濟部水利署



愛現不要「陷」粉絲團



地層下陷防治服務團

確認屬實將可獲頒獎金 3,000 元整。





社團法人中國土木工程學會 106 年年會暨 2017 土水國際論壇

2017 CICHE International Forum

第一天：Friday, Dec. 1, 2017, 12月1日(星期五)

Time	Program	
09:00 09:30	Registration	
09:30 09:45	Opening Ceremony [International Hall, 2F] Welcome message by President of CICHE, Prof. Liang Jenq Leu Opening Remarks by Guests of Honors	
09:45 10:15	Keynote Lecture No. 1 Visions on Civil Engineering Infrastructure and Talents Sustainability in Taiwan Prof. Liang Jenq Leu, President of CICHE	Chairperson Prof. Luh-Maan CHANG CICHE
10:15 10:45	Keynote Lecture No. 2 Role and Practice of Public Relations in Civil Engineering Dr. Tsukada, Executive Director, JSCE	
10:45 11:00	Coffee Break	
11:00 11:30	Keynote Lecture No. 3 Establishment of Taiwan Water Environments Resilience Capability Dr. Chien-Hsin Lai, Director-General, Water Resources Agency, MOE, Taiwan	Chairperson Prof. Yu-Min WANG NPUST
11:30 12:00	Keynote Lecture No. 4 The Way of Civil Engineers' Contributions to SDG's – Development and Implementation of Green Infra Prof. Hyoseop Woo, School of Environmental Science and Engineering, Gwangju Institute of Science and Technology, KSCE	
12:00 12:30	Keynote Lecture No. 5 Myanmar Infrastructure Development for Sustainable Growth Dr. Cho Win Maw, Vice President of Myanmar Engineering Society	
12:30 13:30	Lunch I [International Hall, 2F]	
13:30 15:10 (100min)	Session 1 [Lily Room, 2F] Intelligent Infrastructures	Session 2 [Rosa Room, 2F] Oversea Work Experience Sharing & International Licenses
15:10 15:30	Coffee Break	
15:30 17:10 (100min)	Session 3 [Lily Room, 2F] Environmental Engineering Sustainability	Session 4 [Rosa Room, 2F] Young Engineer Scrambling Taiwanese & international young engineers and students are welcomed
18:00 20:00	Welcome Reception (by Invitation) [Cherry Blossoms Room, 3F]	

106 年年會大會及工程論壇

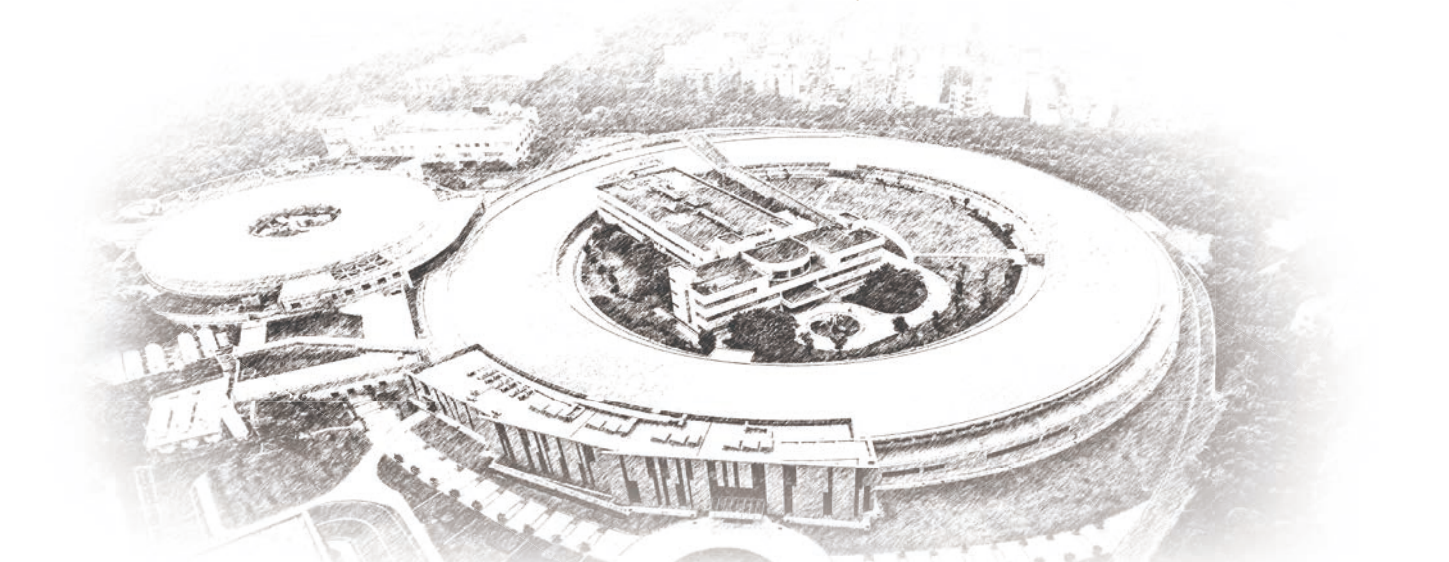
第二天：106 年 12 月 2 日 (星期六)

時間	議程		
9:00 9:30	相見歡 (註冊、報到與領取資料)		
9:30 12:20	106 年年會大會 【2F 國際廳】 1. 開幕式 2. 主席致詞 3. 介紹貴賓及貴賓致詞 4. 專題演講：以水利管理看產官學研一體整合的必要 前經濟部長李世光先生 / 資策會、工研院董事長 5. 工程獎章小組報告、頒發、得獎人致詞 6. 程禹傑出工程師獎小組報告、頒獎、得獎人致詞 7. 榮譽會員頒發、得獎人致詞 8. 會士審查委員會報告、頒發會士證書 9. 論文小組報告、頒發論文獎 10. 獎學金小組報告、頒發獎學金 11. 工程環境與美化委員會報告、工程環境與美化競賽頒獎 12. 資訊委員會報告、BIM 技術優良獎頒獎 13. 全國大專院校工程創意競賽報告、頒獎 14. 年會籌備報告、會務報告 15. 第 23 屆理事長交接 16. 唱大馬歌、禮成		
12:20 13:30	午餐二 (盒餐) 【2F 國際廳】		
13:30 15:10 (100 min)	論壇一 我國公共工程 永續評量論壇 橋梁工程 【2F 百合廳】	論壇二 國際化 大地工程規範 技術論壇 【2F 薔薇廳】	論壇三 2017 學生 工程創意競賽 成果發表會 【3F 櫻花廳】
15:10 15:40	茶敘		
15:40 17:20 (100 min)	論壇四 採購法 修法論壇 最新修法與實務探討 【2F 百合廳】	論壇五 106 年 工程環境與美化競賽 優勝發表 【2F 薔薇廳】	論壇六 2017 BIM 技術優良獎 優勝發表 【3F 櫻花廳】
18:00 20:30	晚宴 【2F 百合廳】		

工程環境與美化優勝海報展
土木軟體應用展

哲人不朽 風範永存

緬懷創辦人馬玉山董事長



台灣光子源同步加速器新建工程 (新竹國家同步輻射中心)

感謝根基營造股份有限公司主辦本年會