財團法人臺灣營建研究院／TAIWAN CONSTRUCTION RESEARCH INSTITUTE

營建知訊
CONSTRUCTION NEWS RECORD

NO.438
二〇一九年七月二十三日
一九八一年創刊
http://www.tcri.org.tw

ISSN 1019612-9



台灣循環經濟學會成立 永續產業發展

提升混凝土耐久性技術

孩子的書屋 大手小手自己蓋房子

版權聲明與會員注意事項：

◎ 電子雜誌刊載之所有內容為財團法人臺灣營建研究院所有或已獲版權持有者授權使用，均受中華民國著作權法及國際著作權法保護，對於相關資訊之運用，用戶須遵守著作權法相關規定。

◎ 電子雜誌所提供之內容與資訊僅供個人、非商業用途之下載或拷貝使用，不得有變更、發行、播送、轉賣、重製、改作、散佈等行為。所有商業性質利用用途，未取得內容之著作權人及財團法人臺灣營建研究院書面許可前，不得使用之。違者依法求償。

◎ 電子雜誌刊載內容所包含之著作權人、著作權聲明、授權條款等，受著作權法管理電子資訊之保護，利用人不得更改或移除。任何形式之轉載及對著作權聲明有任何意見或疑問，請與我們聯絡。

◎ 本刊將依個人資料保護法令相關規定保護您的個人資料，並遵守相關隱私權保護政策。

◎ 您的服務帳號僅限個人使用，不得授權他人的存取及使用服務；另本刊將於知悉您帳號密碼遭冒用時，立即停止該帳號之後續利用。

財團法人臺灣營建研究院

營建知訊/編輯部 敬啟

大家一起來，作伙來投稿！

這是屬於營建業界的園地，歡迎產官學研各家高手、專業伙伴共同加入筆耕行列，分享海內外資訊。

1. 第一守則，維護讀者權益，嚴禁一稿兩投。
2. 投稿每篇文字以 4000 字為限，請附上作者姓名與職稱。稿件請以 word 檔完成，並 e-mail 至 applelee@tcri.org.tw。
3. 來稿文字請統一以 12 號字、新細明體、固定行高 20pt 編排。
4. 為豐富文章內容，歡迎多加運用彩色圖表、照片。任何圖表及照片請提供 word 檔可運用之電腦檔。
5. 圖表需註記圖號及表號，並附註解說。編號需以中文數字，如表一、圖一等。圖表、照片之說明與內文字，請統一以楷體、11 號字編排。
6. 文稿中所引用之技術性名詞應採用通行之譯名。不常見的專有名詞需加註該名詞之原文。
7. 參考文獻資料排列順序為：作者姓名、文獻標題、期刊或書名、刊載券號期數、日期等。例如：林豐博、蘇振維，「國道 5 號雪山隧道車流特性之研究」，運輸計劃季刊，第 38 卷第 1 期，2009 年 3 月，pp.85-120。
8. 參考文獻如包含中英文文獻則需先排中文文獻再列英文文獻。中文文獻應按作者姓氏筆畫排列，英文文獻則需按作者姓氏字母排列。如另有日文文獻則列於中文文獻之後，英文文獻之前。
9. 依工程會「技師執業執照換發辦法」第四條第六款規定，技師於本刊發表論文或翻譯專業文獻，可取得積分，論文每篇六十分，翻譯每篇二十分，作者二人以上者，平均分配積分。

438 目錄

2019 年 7 月 23 日

*封面故事

孩子的書屋 大手小手自己蓋房子 陳俊朗 4

*新聞線上

台灣循環經濟學會成立 永續產業發展 李鴻蘋 11

*每月專題/提升混凝土耐久性技術

提升混凝土耐久性配比技術探討 陳育聖 15

混凝土表面保護劑於結構物之防蝕應用 陳啟泰 24

*氣候變遷

氣候暖化的趨勢—從 2019 年談起 汪中和 31

*綠色城市

以能源為主軸的生態都市設計 楊沛儒 38

*資訊科技

2019 i3CE 會議有感：城市資訊整合技術之分享

周敬淳、郭韋良、謝尚賢 46

封面照片/台東青林書屋

照片提供/孩子的書屋文教基金會

發行人 高宗正

總編輯 呂良正

副總編輯 徐力平

編 輯 李鴻蘋

顧 問 歐晉德 李建中 林英俊 陳永祥 陳清泉 陳舜田 陳堯中 陳振川 梁 樞 葉超雄 顏清連 沈景鵬 陳生金 王明德

發行 財團法人臺灣營建研究院

通訊 231 新北市新店區中興路二段 190 號 11 樓

電話 (02)8919-5007

網址 http://www.tcri.org.tw/tcriWeb/

e-mail applelee@tcri.org.tw

編輯委員

(管理) 李得璋 王慶煌

(施工) 邱昌平 林志棟 沈進發

(大地) 陳正興 廖洪鈞

(結構) 張國鎮 黃世建

(材料) 高健章 張大鵬 黃兆龍

(交通) 楊立奇 周家蓓 周義華

(水利) 林國峰 徐年盛

(建築) 林慶元 彭雲宏 戴期甦

(耐震) 蔡益超 陳正誠

(電腦) 謝尚賢 張善政 呂守陞

(隧道) 姚錫齡

執行編輯 黃榮堯 徐敏晃 黃正翰 張嘉峰 廖振程 謝政達 李孝安 藍秉強 陳育聖 陳姿螢

維護讀者權益 來稿請勿一稿兩投

本刊對來稿保有刪修權

《封面故事》



黑孩子自己動手蓋屋

孩子的書屋 大手小手自己蓋房子

陳俊朗（口述） 孩子的書屋創辦人
（臺灣營建研究院營建知訊記者李鴻蘋整理記錄）

合作單位：
志工—以立國際服務隊
土磚技術—李仲仁、李代賢（風中之星手工房創辦人）
建築設計—楊紹凱建築師（建築製造所）、簡志穎建築師（群青設計事務所）

照片提供：孩子的書屋文教基金會

（作者於本月初驟逝，謹以此文紀念陳爸無私的奉獻）

台東遊子重回故鄉 找到心的方向

「孩子的書屋」創辦人陳俊朗，人稱「陳爸」，1999 年返回台東家鄉，開始陪伴輔導社區孩子，2006 年在建和社區租下一棟透天厝，讓孩子們有一個可以吃飯、寫作業、玩音樂，一個讓人安心，可以遮風避雨的地方，第一間書屋—建和書屋於焉成立，並開始經營部落格，慢慢讓更多人知道書屋。2009 年陸續設

置美和書屋、溫泉書屋等。2011 年和孩子們共同改造台 9 線旁的豬圈為書屋辦公室，並設置中央廚房提供書屋晚餐。2012 年開始種植百香果，踏出農業計畫第一步；同年帶孩子到台北舉辦感恩音樂會，感謝支持相助的朋友。2013 年將國小 5、6 年級學生集中在溫泉書屋，另外成立多元書屋，替國中孩子設置國英數專班，並為國、高中生設置閱讀專班；同年，百香果收成，社區型農業開始運作，聘請農業專家帶領社區居民栽種無毒純淨蔬果，供應書屋中央廚房。2014 年開始自力造屋。2015 年成立「財團法人孩子的書屋基金會」；同年第一棟自力建造的鋼構土磚書屋—青林書屋竣工。2016 年成立基金會附設擊壤歌，推廣自創百香果甜品品牌；並成立利嘉書屋，慢慢實踐「部落一家」的想法。青林書屋於 2016 年榮獲第三屆 ADA 新銳建築獎首獎及 2018 年台灣建築獎佳作。以下為陳俊朗（陳爸）成立書屋一路走來的心路歷程。



青林書屋獲得多項建築獎

書屋緣起

陳爸：大概 20 年前，1999 年時我回到台東故鄉建和社區，看到有些孩子家庭狀況不是很好，除了經濟條件不佳，有些孩子遭家暴，社區還有毒品流竄，

看到這些現象，覺得捨不得這些孩子，想說用我的力量是不是可以為他們做些什麼，便開始在我家庭院照顧這些孩子，剛開始只有幾個人，很快的就發展到 6、70 人，然後 100 多人，我當時回來本來準備考書記官，剛開始以為只是照顧他們一段時間，與這些孩子一起相處 4、5 年之後，對他們開始有較深的情感，看到他們沒飯吃、看到他們受欺負，覺得看不下去，才發覺自己已經離不開這些孩子，就一路照顧他們到現在。

青林書屋設計、結構—自己動手做土磚

陳爸：蓋青林書屋，是因為當時書屋據點有 10 個，平均租約 2 年，所以 1 年要搬 5 次家，搬怕了，想說找一個地方，自己蓋一棟書屋，用最便宜的方式蓋，可以住個 10 年、15 年，不用再搬家，才有了自己蓋房子的想法。既然要蓋，就想用自己喜歡的方式蓋房子，不想再用鋼筋水泥，就請教老人家台灣較古老的建築工法，他們告訴我是「土角厝」，也就是土磚建築，我請教他們如何作土磚，老人家說要用黏土、用切碎稻稈加牛大便，這個粗淺的概念開啟了我之後長期的探尋。

我們大概花了 1 年時間解決這些問題。譬如說牛大便現在已經找不到了，為什麼要用牛大便，因為裡面有很多纖維，這部分我們就用純土加上輕量的稻稈或木屑取代，但黏土要如何取得？我們在山上找到一塊含黏土的農地，派了 10 個人去挖土，用 3.5 噸的貨車裝滿一車的土回來，但人家告訴我蓋一間房子要用 6 千多塊磚，我們的土只能做 16 塊磚，我聽了差點昏倒，怎麼辦？後來又請教很多人，就試著把一般泥土去砂，調到適當比例做成土磚。所以土磚加上木屑就成了我們基本的建材，然後用土磚堆疊的方式蓋屋。




孩子們自己製作土磚

陳爸：後來選擇穀倉蓋書屋，我們問過孩子他們想要的是什麼樣的房子，他們說要有溜滑梯，要很空曠，不要像一般教室規規矩矩的，期間我們也有找雪梨大學建築系畢業的老師來教孩子上建築課程，讓孩子自己設計自己想要的房子，但後來發現他們設計的房子實在是太怪了，他們想要的是類似船屋型的房子，這在結構上有很大的挑戰，後來折衷，由設計師設計、但孩子們同意的方式，來完成現階段我們有能力完成的理想。



孩子想要的溜滑梯，設計師協助設計製作。（攝影：劉振祥）

土磚房蓋好後，我們才發現土磚房原來這麼好，它會呼吸耶。夏天較熱時它不但能隔絕熱氣，讓室溫降低 5、6 度，下雨時土磚房還可以保持乾燥；外面很乾時，它又會釋放出水氣，讓屋內不會那麼乾燥，我們才知道，老人家的智慧真的不得了，土磚建築真的比鋼筋水泥的房子要好。

協力造屋—孩子做得起勁、志工熱烈響應

陳爸：希望透過自己蓋房子的過程能夠啟動協力造屋這件事。我們希望打下一個基礎，就是以後村民如果有要蓋房子的，那麼我們這群人可以幫上什麼忙？我的想法是，屋主自己購料，我們提供人力和技術，一方面也可以協助村裡較貧困的人自己蓋房子。

《封面故事》



以立國際服務隊志工領隊學習土磚製作

陳爸：我們蓋青林書屋時，以立國際服務隊志工來了 600 多人次，蓋第 2 間黑孩子咖啡及第 3 間土磚的生活屋，都來了約 100 多人次志工協助，也有村民及鄰近社區的人來幫忙。工班原來是我身邊的孩子，多數人家庭狀況不好，平常他們又喜歡打架，有什麼事他們都會來找我，我想幫助他們找到一個可以依循的方向，剛好蓋房子需要人力，他們就成了首選。沒想到他們竟然對於蓋房子這件事很有感覺、很有興趣，應該是女志工很多，他們可以表現得很 Man 吧！所以就帶著這群孩子蓋房子，一連蓋了 3 棟。後來輔導他們成立工程行，現在還在草創階段。



黑孩子屋頂鋪土

《封面故事》

陳爸：蓋房子的過程我們找了 3 位建築師和 2 個領班，其中仲仁家裡是做建築的，他現場施工和應變能力很強，他的到來讓自造書屋夢想成真。但孩子施作過程中做錯的機率很高，本來預估蓋好一棟房子需要 600 多萬元，但最後完工共花了 1300 萬，比原先預期多了一倍，不過，書屋不僅只是蓋一棟孩子可以使用的房子，而且也關係到 14 個曾經歷經黑暗生活孩子的未來，當我用這個角度跟捐款者說明時，他們也都能理解並且給予支持和協助。

我的姪子彥凱軍中退役後也過來加入造屋行列，他是孩子們的老大，把軍中紀律的精神用在孩子身上，教會他們時間觀念和工作效率，當房子的鋼骨架起來那一天，10 幾個孩子看到一棟房子立在他們的面前時，雖然沒有掉淚，但我看到他們「殺氣騰騰」，一副「我要跟你拚了」的眼神，充滿鬥志。記得蓋屋頂時是在 8 月最炎熱的夏天，我自己上去時都汗如雨下，溫度計上 42℃，但他們也是每天 8 小時撐下來，有人做到中暑被抬下來，休息一下就又上去了。孩子在蓋屋的過程中找到男子氣慨，發現自己不是百無一用，而是可以拚搏的。



鋼構屋頂架設

最讓我印象深刻的是，房子蓋好沒多久，來了一個尼伯特颱風，把泥土加石灰最外面那層牆吹倒了，一早 6 點我到現場時，已有 2、3 個孩子正把壓在上面的樹木拖走，試圖把那面牆扶回去，孩子們怕颱風把他們蓋的城堡吹壞，他們很在意房子，因為是他們自己蓋的。

《封面故事》

未來夢想—打造天然永續、自給自足的台東知本烏托邦

陳爸：最初建立書屋的理念是，希望可以自己教孩子、吃的東西自己種、要住的房子自己蓋、經濟能力可以自己解決、可以幫助社區的老弱婦孺。我很期待經過 20 年、30 年的努力，這個地方能照自己的理想去生活，簡單的說，就是成為台灣台東知本的一個烏托邦、桃花源。20 年過去了，我發現這是可以實踐的。像是自然農法、雨水回收和水肥應用，這都是老人家教的，他們說農業有 3 個很重要的定律，就是：當季、當地和對的循環。雨水是一個好的循環，我們卻讓它流到大海，水肥是在對的循環裡，我們卻把它沖掉，如果這些東西可以留下來，對整個水資源的運用和地肥的恢復都有很大幫助。我們要發展長期事業是為了自給自足，我希望在我有生之年建立起一個規模，當我老了沒力了，這些孩子也有辦法靠這段時間創下的事業、收入維持收支平衡，繼續幫助需要幫助的人，而不用到處募款。



陳爸陪伴社區孩子們成長



孩子的書屋為大人和小孩實現夢想

如果成功建構一個自給自足的家園，就可以照顧這個範圍裡的小孩、老人、身體或精神上不健康的人，這樣的理念也可以拓展到台灣其他地方。投入書屋 20 年了，基礎的規模已經快建置完成，接下來的 10 年，希望可以把這些經驗用授課的方式或成立訓練班傳承下去，或許再訓練 10 個陳爸、20 個陳爸，複製經驗給其他地方參考。也許未來，若不怕辛苦，我會背著背包到處去蓋書屋，繼續推廣協力造屋、使用當地天然建材。這是我的理想。

孩子的書屋官網：https://www.bookhouse.org.tw/

孩子的書屋臉書：https://www.facebook.com/bookhouse.org.tw

《新聞線上》

台灣循環經濟學會成立 永續產業發展

李鴻蘋　臺灣營建研究院 營建知訊記者

結合產官學 促進循環經濟技術及產業提升

多年來政府推動資源再利用不遺餘力，國際社會也對循環經濟議題多所關注，臺灣營建研究院有感於循環經濟應以營建為出發點，擴及所有資源再利用產業，特邀請產官學專家及團體，共同籌組「台灣循環經濟學會」(Taiwan Society for Circular Economy)，期結合從事營建工程、資源再利用、產業經濟之產官學力量，以減少自然資源耗用及廢棄物產出，共同促進循環經濟技術及產業提升為目標，並協助政府研擬政策，進而建立永續發展之經濟模式。

「台灣循環經濟學會」成立大會於 6 月 19 日假台大社科院梁國樹國際會議廳舉行，由臺灣營建研究院呂良正院長主持，現場賓客雲集，內政部徐國勇部長、工程會顏久榮副主委及立委呂孫綾等人也蒞臨致辭，並對台灣循環經濟學會響應政府 5+2 產業政策表示肯定。學會成員集結知名水泥廠商、工程建設公司、營造業同業公會、中興工程顧問公司等產業、營造業及工程師、建築師、技師及學術界等各領域代表，皆到場祝賀。



內政部長徐國勇（右三）、工程會副主委顏久榮（左三）、立委呂孫綾（右二）、工程會技術處林傑處長（左二）等貴賓蒞臨祝賀。　（攝影：陳英仁）

協助政府訂定規範 加強與國際交流合作

臺灣營建研究院呂良正院長獲選為台灣循環經濟學會首任理事長，他說明台灣循環經濟學會以推動下述工作為任務：

一、辦理循環經濟相關學術及技術交流活動。
二、促進資源再利用科技之研究與發展。
三、協助政府訂定循環經濟相關之法令與規範並推廣應用。
四、協助提升企業生產效率，能源使用效率與環境績效。
五、落實營建工程節能減碳、促進資源循環利用、輔導產業永續發展。
六、培育相關之人才、辦理教育訓練、講習、並出版書刊。
七、建立國際驗證標準、推動自願性驗證制度。
八、推動國際及海峽兩岸技術之合作與交流，建立技術合作平台。
九、辦理其他符合本會宗旨之活動與服務。



台灣循環經濟學會呂良正理事長說明學會工作任務。（攝影：陳英仁）

專題演講他山之石 期許循環經濟成為潮流

會中並邀請工程會技術處林傑處長及環保署廢管處賴瑩瑩處長進行專題演講。林傑處長分享工程會推動循環經濟的理念，他表示，時代在變，循環經濟是一定要走的路，不同於以往線性經濟只從品質、進度等單一角度思考，循環經濟最大的不同在於參與者變多、目標函數增加，如開始納入環境保育、經濟發展等

多元思考面向。工程會推動工程再生資源使用的進程是希望廠商從敢用、會用、一定要用到最後樂於使用，並希望未來能做到讓大家覺得使用再生粒料是一件很潮、很流行的事，他也樂見台灣循環經濟學會的成立提供一個中立、專業的平台。



工程會技術處林傑處長發表演講。（攝影：陳英仁）

賴瑩瑩處長則分享日前到芬蘭參加第三屆 WCEF 世界循環經濟論壇的經驗，她表示參與討論的國家變多，包括新增非洲、南美洲國家，明年加拿大也將加入，顯示循環經濟議題已愈來愈受重視，參考日本過去經驗，在推動循環經濟時有中間處理機構做為平台；而在台灣，從線性經濟轉型到循環經濟的過程中，除了工程界、環保界已經開始響應，接下來很重要的是社會溝通，要讓社會大眾了解，並建立信心。相關工程應用範圍除了現有的金屬及水泥外，未來填海造島、海事工程也將列入循環經濟推動方向。



環保署廢管處賴瑩瑩處長分享國外考察經驗。（攝影：陳英仁）

最後呂理事長邀請與會貴賓及會員一同留影合照，並歡迎更多會員加入推動循環經濟的行列，為營建產業及環境永續發展盡一份心力。會員入會資格如下：

1. 個人會員：凡贊同本會宗旨，且年滿 20 歲，得申請個人會員，或其他經理事會認定者。
2. 永久會員：凡個人會員一次繳納 10 年之常年會費者。
3. 團體會員：凡贊同本會宗旨之公私立機構或團體，依常年會費金額分鑽石、白金、金三種。

入會申請相關資料索取及入會方式請洽聯絡人李小姐，電話：02-89195042，Email：tcri309@tcri.org.tw。



與會來賓合影。（攝影：陳英仁）

提升混凝土耐久性配比技術探討

陳育聖　臺灣營建研究院 技術研發組組長

耐久性設計漸受重視

過去國內公共設施與工程相關設計規範並未明確訂定設計使用年限，雖然部分設計規範對於特殊耐久性需求案件有較為嚴格之設計標準，然亦無使用年限或壽年之設計依據或標準，而公共設施招標也多未針對設計使用年限加以明確要求，造成工程品質履約目標不明確、維護管養不易，進而衍生公共設施實際使用年限不足即需辦理改建的問題，且對於重要建設亦未能比照國際標準適度提升設計使用年限，更形加重公共設施屆齡拆除重建的財務負擔。有鑑於此，交通部頒「公路橋梁設計規範」率先於民國 104 年公告原第 12 章「海洋環境下防蝕設計」修改為「耐久性設計」，且增訂部分內容，並將設計年限明訂於條文中，自此國內工程界開始重視鋼筋混凝土結構物之耐久性設計。

今年 2 月開工之淡江大橋第三標，是國內第一座考量設計年限所設計的跨海大橋，其 120 年之設計年限即依據國內外相關耐久性規範及本土化學理分析，而定出混凝土相關驗收標準；欲提升混凝土材料耐久能力有很多方法，本文將藉由混凝土的配比參數來探討其對耐久性的影響。

耐久性能評估方法

有關混凝土材料的耐久性評估方法有非常多種，本文將以抵抗氯離子滲透之能力作為評估依據，所採用之試驗方法以貯鹽試驗（Ponding Test）及氯離子非穩態傳輸係數試驗（RCM）為主，兩種試驗方法說明如下：

一、貯鹽試驗（Ponding Test）

貯鹽試驗可參照 ASTM C1543「Standard Test Method for Determining the Penetration of Chloride Ion into Concrete by Ponding」進行，藉由內部濃度梯度差異，使氯化鈉溶液內之氯離子在混凝土中進行擴散，試驗方法為製作一斷面積為 300cm^2、高 10cm 之混凝土試體，在外側以環氧樹脂塗封防止漏水，上方使用壓克力環形成圍堰並注入高 1.5cm 之 3%氯化鈉溶液，如圖一所示。待靜泡 90 天後將試體逐層切片及磨粉，可參照 CSN 14702「硬固水泥砂漿及混凝土中酸溶性氯離子含量試驗法」利用電位滴定儀測其不同深度之氯離子濃度，進而根據 Fick 第二擴散定律計算出氯離子擴散係數，其擴散方程式如下式所示：

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D\frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

D (m^2/s)為擴散係數，c 為物質擴散到距離為 x 之濃度，x 為擴散所到達之距離，t 為擴散所使用之時間。假定單一方向的擴散趨動方式，利用一個半無限的積分，設定 m 是一個最初提供的全部氯離子濃度，且在擴散過程中並沒有其他的離子濃度來提供擴散的趨動力，可導出下式：

$$m = \int_0^\infty c dx, t \geq 0$$

假設氯離子的濃度對於混凝土表層來說，其所相對的氯離子濃度是一個趨近於無限大的量，則可帶入下列邊界與初始條件：

$c = 0$ for $x = \infty$ and $t \geqq 0$

在表面符合下列的條件：

$c = 0$ for $x > 0$ and $t = 0$

$c = \infty$ for $x = 0$ and $t = 0$

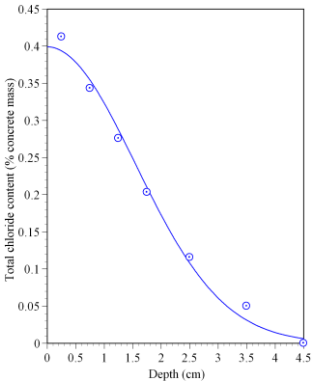
可求得下式：

$$c = \frac{m}{\sqrt{\pi Dt/2}} \exp\left(-\frac{x^2}{2Dt}\right)$$

圖二為貯鹽試驗典型的氯離子含量與深度關係圖，圖中之曲線可利用上式之迴歸分析求得，並由迴歸方程式中可求得氯離子擴散係數。



圖一 貯鹽試驗之情形

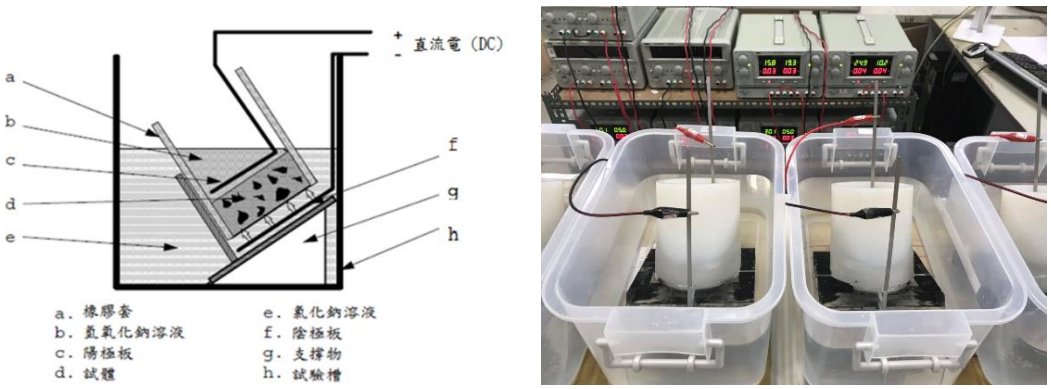


圖二 氯離子含量與侵入深度關係圖

二、氯離子非穩態傳輸係數試驗

氯離子非穩態傳輸係數試驗又稱為快速氯離子傳輸試驗（Rapid Chloride Migration,RCM），可按照 NT BUILD 492「Chloride Migration Coefficient from Non-steady-state Migration Experiments」進行，試驗前混凝土試體需先進行前處理，可參照 CNS 14795「混凝土抗氯離子穿透能力試驗法—通過電荷量表示法」進行抽真空之前處理。

前處理完成後，將試體套入橡膠套內並安裝 2 個不鏽鋼環，扭緊環上螺栓使試體側面處於密封狀態。然後將試體置入試驗槽中並安裝陽極板，在橡膠套中注入約 300 ml 0.3M 氫氧化鈉溶液，使陽極板和試體表面均浸沒於溶液中，而在陰極試驗槽加入重量百分濃度 10%之氯化鈉溶液，使液面與橡膠套內液面高度相同，如圖三所示。



圖三 RCM 試驗裝置示意圖及試驗情形

試驗槽架設完成後，將電源正極接上陽極板，並將電源負極接上陰極板。開始先將電壓設定在 30 ± 0.2 伏特，記錄初始電流與陽極溶液之初始溫度。根據表一與初始電流調整施加的電壓，並由表二依調整電壓後的新初始電流決定試驗進行的時間。

表一 RCM 施加電壓對照表

初始電流 I_{30} (mA)	應施加電壓 (V)
小於 5	60
5 ~ 10	60
10 ~ 15	60
15 ~ 20	50
20 ~ 30	40
30 ~ 40	35
40 ~ 60	30
60 ~ 90	25
90 ~ 120	20
120 ~ 180	15
180 ~ 360	10
大於 360	10

表二 RCM 試驗進行時間對照表

新初始電流 I_0 (mA)	試驗持續時間（小時）
小於 10	96
10 ~ 20	48
20 ~ 120	24
大於 120	6

試驗結束後，記錄最終溫度與最終電流，並將試體劈裂。在劈裂的斷面噴灑 0.1M 之硝酸銀指示劑，根據觀察到的顏色變化量測分界線與底面的距離，精確至 0.1 mm。混凝土非穩態氯離子遷移係數（D_{RCM}）依照下式進行計算：

$$D_{RCM} = \frac{0.0239 \times (273 + T)L}{(U - 2)t}\left(X_d - 0.0238\sqrt{\frac{(273 + T)LX_d}{U - 2}}\right)$$

式中各項參數：

D_{RCM}：混凝土非穩態氯離子遷移係數，單位為 10^{-12} m^2/s。

U：所施加的電壓，單位為伏特。

T：陽極溶液初始溫度與最終溫度的平均值，單位為℃。

L：試體厚度，單位為 mm。

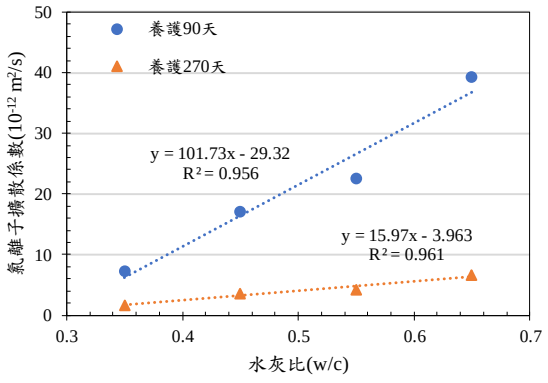
X_d：氯離子滲透深度的平均值，單位為 mm。

各種配比參數對耐久性的影響

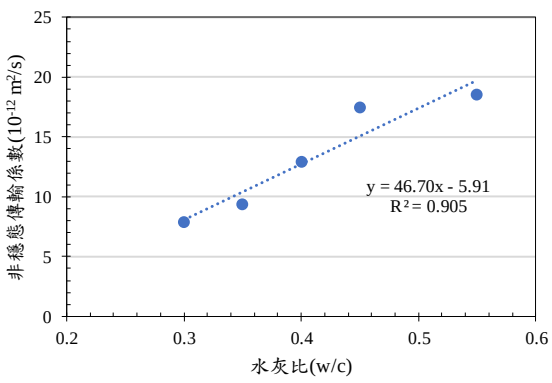
一、水灰比對耐久性的影響

水灰比是影響混凝土性質非常重要的因子，不但直接影響到混凝土抗壓強度，亦會影響其耐久性，當水灰比較大時，混凝土拌和物中水泥顆粒相對較少，顆粒間距離較大，水化生產的膠體不足以填充顆粒間的空隙，此外，過多的水分蒸發後留下較多的間隙，使混凝土強度降低。反之，水灰比較小時，水泥顆粒間距離小，水泥水化生產的膠體容易填充顆粒間的空隙，蒸發後留下的間隙也較少，致使混凝土強度及耐久性提高。

文獻[1]分別針對水灰比為 0.35、0.45、0.55 及 0.65 的純水泥配比進行比較，試體在養護 90 天和 270 天後進行貯鹽試驗，試驗結果如圖四所示，氯離子擴散係數隨著水灰比的增加而呈現線性增加，其中養護 90 天之試體，水灰比 0.65 配比之氯離子擴散係數約為水灰比 0.35 之 5.4 倍，而養護 270 天後之試體，氯離子擴散係數約為養護 90 天之 17%~21%；文獻[2]針對水灰比為 0.3、0.35、0.4、0.45 及 0.55 的純水泥配比在養護 28 天後進行非穩態傳輸係數試驗，試驗結果如圖五所示，同樣隨著水灰比的增加而呈現線性成長，水灰比 0.55 配比之非穩態傳輸係數約為水灰比 0.3 之 2.3 倍，顯示降低水灰比可顯著地提升混凝土耐久性。



圖四 水灰比對氯離子擴散係數的影響

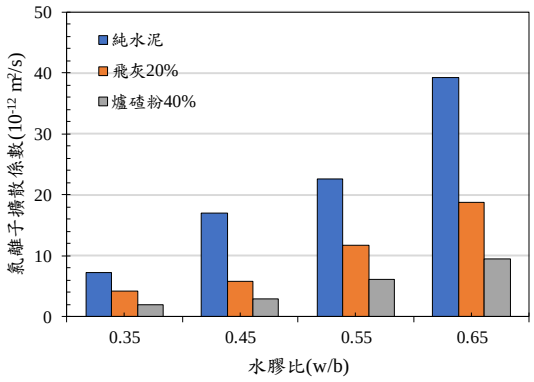


圖五 水灰比對非穩態傳輸係數的影響

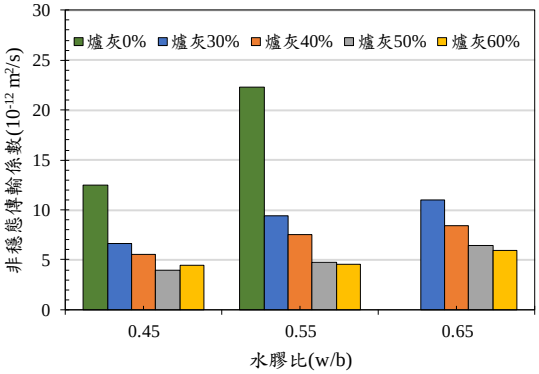
二、添加飛灰及爐碴粉對耐久性的影響

燃煤飛灰及水淬高爐爐碴粉為國內預拌混凝土常添加之礦物摻料，其皆為含有豐富之氧化矽（SiO_2）、氧化鋁（AlO_3）以及氧化鐵（Fe_2O_3）之卜作嵐材料，當卜作嵐材料作用發生時，其與水泥漿體中之氫氧化鈣（$Ca(OH)_2$）反應，產生晶狀的鈣鋁鹽類（C-A-H）以及低密度的鈣矽膠體（C-S-H），來填塞混凝土中微小的孔隙，並提高骨材介面鍵結強度，減少混凝土的透水性，進而提高其耐久性。

文獻[1]分別針對純水泥、添加20%飛灰及添加40%爐碴粉之配比進行比較，在試體養護 90 天後進行貯鹽試驗，試驗結果如圖六所示，由圖中可看出添加飛灰和爐碴粉之配比，其氯離子擴散係數皆有明顯地降低，其中，添加 20%飛灰配比之擴散係數約為純水泥配比 34~58%，而添加 40%爐碴配比之擴散係數約為純水泥配比 17~28%；文獻[3]探討不同爐灰（爐碴粉：飛灰=7：3）取代量下之非穩態傳輸係數之變化，爐灰取代水泥之比例為 0、30、40、50 和 60%，試驗結果如圖七所示，其中水膠比為 0.65 之純水泥配比因氯離子穿透試體所以無法量得，其中添加 30%爐灰配比之非穩態傳輸係數約為純水泥 42~53%，添加 50%爐灰配比之非穩態傳輸係數僅為純水泥 21~32%，而當添加超過 50%後，則對於非穩態傳輸係數的降低有限，由此顯示添加飛灰或爐碴灰等礦物摻料對於混凝土耐久性的提升有很大幫助。



圖六 添加礦物摻料對氯離子擴散係數的影響

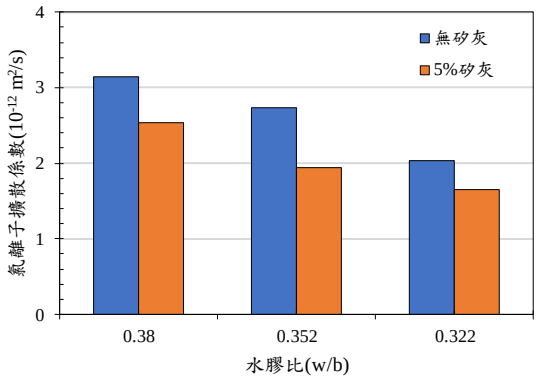


圖七 添加爐灰對非穩態傳輸係數的影響

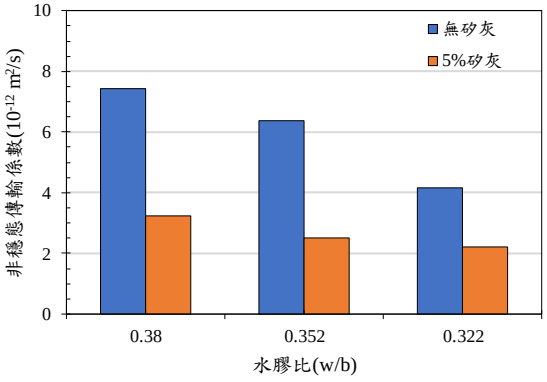
三、添加矽灰對耐久性的影響

矽灰係由高純度的石英與煤在電弧爐中加熱至 2000℃ 所產生矽金屬及鐵矽合金所濃縮的副產品。其成份為高含量不定型或細球型顆粒的二氧化矽，約佔 85～98%，其餘為少量的金屬化合物。一般矽灰比重約在 2~2.5，小於卜特蘭水泥的 3.15，其平均粒徑約為 0. 1um，為波特蘭水泥顆粒的 1/100 倍，可與氫氧化鈉起卜作嵐反應。

文獻[4]探討水膠比為 0.32~0.38 高強度配比添加矽灰對於抵抗氯離子性能的影響，其中無添加矽灰之膠結材比例為Ⅱ型水泥：爐碴粉：飛灰=0.5：0.35：0.15，而有添加矽灰之比例為Ⅱ型水泥：爐碴粉：飛灰：矽灰=0.5：0.3：0.15：0.05，試體養護齡期 28 天的試驗結果如圖八及圖九所示，當添加 5%矽灰時，氯離子擴散係數約可降低 19~29%，而非穩態傳輸係數約可降低 47~56%，顯示矽灰對於提升耐久性亦有所幫助。



圖八 添加矽灰對氯離子擴散係數的影響



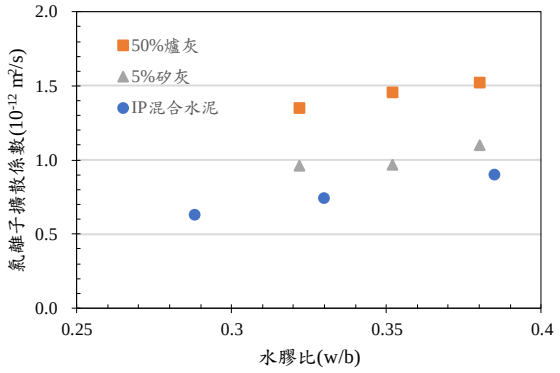
圖九 添加矽灰對非穩態傳輸係數的影響

四、混合水泥對耐久性的影響

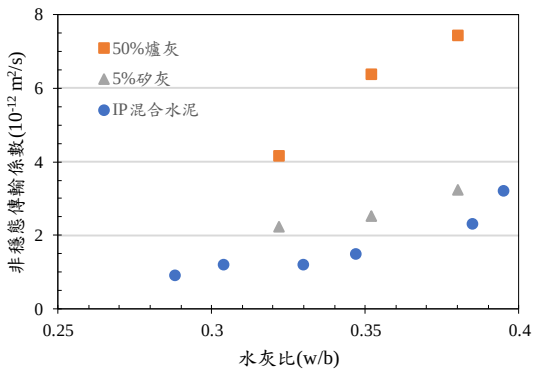
依據 CNS 15286「水硬性混合水泥」，一般混凝土構造物用混合水泥可分為二種類型， IS 型混合水泥—卜特蘭高爐爐碴水泥及 IP 型混合水泥—卜特蘭卜作嵐水泥；除類型之外，混合水泥可依使用者工程需求，指定特殊需求性能，若產品以高度抗硫酸鹽侵蝕性能為主，附加 HS 字尾，以低度水合熱，附加 LH 字尾。其中，IP（HS-LH）為複合功能型之混合水泥，其在水合熱部分符合 CNS 15286 標準中 LH 類之要求，抗硫酸鹽侵蝕部分則符合 HS 類之要求（180 天齡期），而

抗壓強度部分則符合較高標準之 HS 類要求，因此混凝土配比中採用 IP（HS-LH）混合水泥，對於工程之品質與耐久性應具有一定程度之提升。IP（HS-LH）混合水泥中因含有高爐爐碴粉與飛灰，其鈣、矽、鋁氧化物之相圖與卜特蘭熟料相近，具潛在膠結能力（在適當熱量、濕度與鹼性環境下，始具膠結能力）；當以細粉狀與水泥混合使用，又可與水泥水化生成之氫氧化鈣及鹼發生卜作嵐反應，形成類似卜特蘭水泥之水合物 C-S-H 與 C-A-H 膠體，提供後期混凝土之強度發展，另外由於爐碴粉顆粒微細，可增加混凝土之緻密，而增進混凝土之耐久性，更提升混凝土長期品質。

文獻[5]採用中聯公司產製之 IP（HS-LH）混合水泥進行相關試驗，圖十為試體養護齡期 90 天，不同膠結料組合之貯鹽試驗的氯離子擴散係數試驗結果，而圖十一為試體養護齡期 28 天，不同膠結料組合之非穩態傳輸係數試驗結果，由圖中可看出，全灰量使用 IP（HS-LH）混合水泥而不再另外添加礦物摻料的配比，和添加 30%爐碴粉、15%飛灰及 5%矽灰配比的試驗結果相近，甚至更佳，顯示 IP（HS-LH）混合水泥不但具有低水合熱之特性，亦具有極佳之耐久性能。



圖十 混合水泥對氯離子擴散係數的影響



圖十一 混合水泥對非穩態傳輸係數的影響

多元組合 達成耐久性目標

要提升鋼筋混凝土結構物耐久性的方法很多，而新型材料與技術日新月異，除了從混凝土材料配比著手外，亦可採用混凝土保護塗層、防蝕鋼筋、腐蝕抑制劑、陰極保護等複合工法，可視工程特性及預算選擇最有效及經濟性的方法，工程師應透過多樣性的組合方案來達成耐久性需求。

參考文獻

1. 詹穎雯、楊仲家、陳育聖等人，「台灣苗栗以北地區大氣中氯鹽與橋梁腐蝕劣化環境之研究」，交通部公路總局委託計畫，2010。
2. 林煜傑，「利用 RCM 及 RCPT 探討混凝土非穩態傳輸係數」，國立臺灣海洋大學材料工程研究所碩士論文，2018。
3. 王郁賀，「爐灰混凝土傳輸行為之研究」，國立臺灣海洋大學材料工程研究所碩士論文，2015。
4. 詹穎雯、楊仲家、陳育聖等人，「淡江大橋鋼筋混凝土材料耐久性之探討」，中興工程顧問股份有限公司委託計畫，2017。
5. 陳育聖、何季軒等人，「混合水泥耐久性評估與熱學特性分析」，中聯資源股份有限公司委託計畫，2019。

混凝土表面保護劑於結構物之防蝕應用

陳啟泰　台灣贏創股份有限公司 經理

台灣海島型氣候易使建物鋼筋結構腐蝕

鋼筋混凝土 RC 結構物在近代建築已經成為不可或缺的基礎工程之一，許多國內外 RC 建築物甚至超過百年以上的歷史，但也有許多 RC 結構物無法抵抗外在因素如機械的碰撞、嚴苛環境中氯離子的侵蝕及雨水的不斷滲入，從外觀可見的混凝土龜裂、滲漏、白華、中性化，更進一步加速內部鋼筋的腐蝕，導致結構強度下降，以及鋼筋氧化生鏽造成體積膨脹而產生的裂縫等因素，致使鋼筋混凝土的壽命急速下降。台灣四面環海，為典型海島型氣候區，尤其以沿海地帶，高濕與高鹽份的環境，長時間處於如此嚴苛的條件下，無法避免氯離子的侵入，造成許多建築物鋼筋結構的迅速腐蝕。

因應實際的需求狀況，各種不同技術背景的混凝土防護技術不斷推陳出新，不論是從基礎混凝土配比與添加劑的改良、電化學角度切入的陰極防蝕技術、環氧塗佈防蝕鋼筋的前期強化以及阻擋表面氯離子與水份侵入的塗佈材料，對於鋼筋混凝土 RC 結構的使用年限提升都有其重要性，甚至為了達到最佳防護的效果，會採取兩種以上的複合式防護。

為何阻絕水與氯離子的侵入能夠有效提升混凝土壽命？因為混凝土的破壞以及鋼筋的腐蝕，都是來自於這兩個因素，導致強度下降，鋼筋生鏽體積膨脹而使混凝土產生龜裂，化學反應如下式所示。

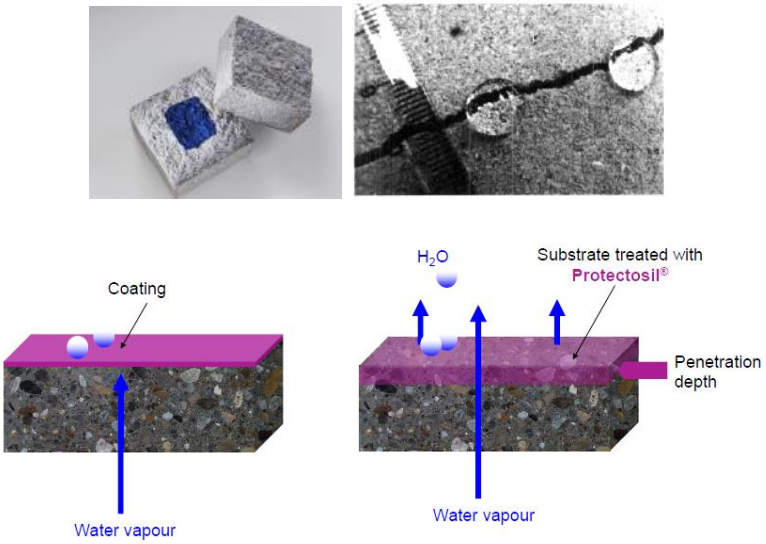
$$2\,Fe + 1.5\,O_2 + H_2O \xrightarrow{Cl^-\ (catalytic)} 2\,FeO(OH)$$

2.5 times the volume of Fe

矽烷類疏水處理劑 可阻絕水與氯離子

因此許多文獻及案例中指出，同時降低混凝土表面吸水率與氯離子侵入，是提高鋼筋混凝土結構使用年限最為有效的方式之一，而矽烷類的疏水處理劑則是最廣泛被使用的材料之一，其具有比奈米更小的分子結構及非常低的黏度，經由反應型的疏水化處理，矽烷能有效地阻止水和氯離子到達鋼筋，進而阻止腐蝕(圖一），其主要功能如下：

1. 阻止水進入混凝土（抗凍融，酸雨，風化）。
2. 延缓水溶性汙染物，如氯離子滲透侵蝕鋼筋。
3. 耐酸、鹼等化學腐蝕。
4. 耐紫外線、耐候性能卓越。
5. 矽烷可以深度滲透（3-6mm），並與混凝土產生化學鍵解，長期有效的保護混凝土。
6. 保留混凝土本身的「呼吸」能力。
7. 不會改變混凝土的外觀。



圖一 矽烷類疏水處理劑之作用機理

M. Rodrigues 等人在 2000 年所發表的「 Effectiveness of surface coatings to protect reinforced concrete in marine environments, Mater. Struct.」文獻中，也明確針對幾種常見的表面防護方法（Epoxy Glass-flake coating, Polyurethane paint, Cement base water proof coating, Silane base treatment）加以比較，其中矽烷的處

理獲得了最高性能評比。而最常見拿來與矽烷類防護材料比較的，則為一般塗佈成膜的高分子材料，表一整理出兩種不同類型材料的優缺點：

表一 塗佈成膜與矽烷滲透型防護材料比較表

	塗佈成膜防護材料	矽烷滲透型防護材料
基本特性	表面高分子層，阻隔水分空氣進入。	滲透入混凝土 3~4 mm，形成疏水結構，阻止水分與氯離子進入。
優點	1. 有效阻隔氯離子和水的侵入，進而防止鋼筋腐蝕。 2. 具有裝飾功能 3. 成本較低	1. 大幅降低水分滲透率，耐凍融破壞、鋼筋腐蝕及黴菌滋生。 2. 高滲透深度 3. 2 mm 內裂縫也有防水效果 4. 保持混凝土表面自然外觀
缺點	1. 透氣性低，無法呼吸，水分無法排出，可能產生表面龜裂。 2. 局部遭破壞或施工缺陷時，外部汙染非常容易進入混凝土內部。	初始成本較高

杭州灣跨海大橋 採用矽烷類混凝土防護劑

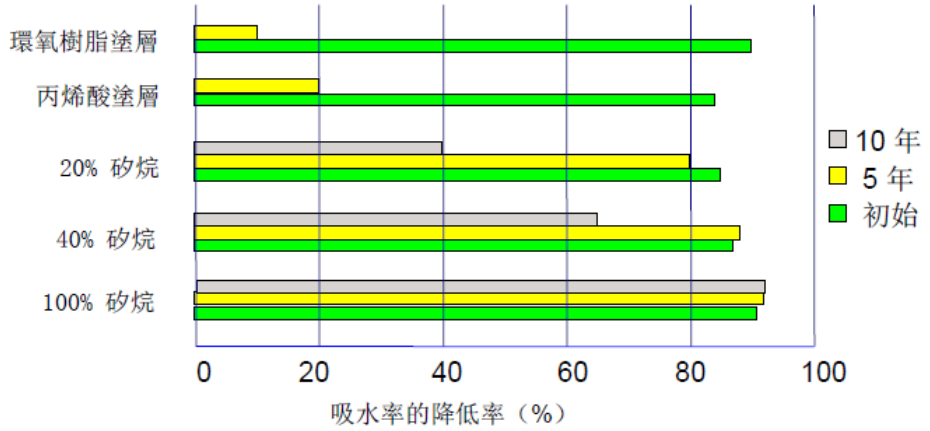
2003~2008 年間所興建的杭州灣跨海大橋，為當時全球最長的跨海大橋，除了施工具高難度之外，更是當時工程技術的里程碑，極具歷史意義，而其使用年限的設計以及材料使用，意義非凡。杭州灣跨海大橋的橋墩與橋柱施做了 Protectosil® 系列的矽烷類混凝土防護劑，在有關吸水率下降以及氯離子侵入的測試中，能夠有效降低吸水率 >90% 以及氯離子侵入> 90%。且在 C50 混凝土強度的條件下，能夠有效的滲入 3 mm，在眾多的材料中脫穎而出（表二），符合中國 JT/T 275-2000 規範，達到使用年限超過 100 年的設計目標。

表二 杭州灣跨海大橋耐久性設計指標

Concrete quality treated with	C40 Protectosil® CIT	C50 Protectosil® BHN
coefficient of water absorption [mm/min$^{1/2}$]	0,009	0,007
penetration depth (concrete C45) [mm]	3,16	2,7
reduction of chloride uptake [%]	90,3	90,8

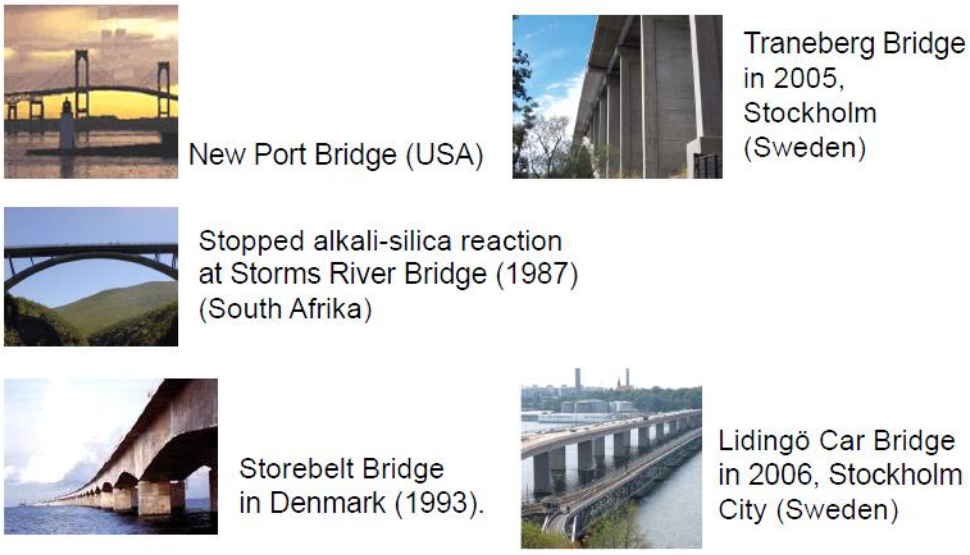


不同於一般的表面防護塗料，矽烷類為高滲透型的技術，因此可以有效的避免因為表面損傷或是風化而喪失應有的防護功能，圖二為針對混凝土橋面施做不同類型的防護材料，在長時間的磨損後，經過矽烷處理的混凝土橋面，仍能夠保有非常優異的防水效果。



圖二 橋面高負荷交通磨損之前和之後的吸水率降低率

為了能夠達到最佳的使用年限，全世界已經有許多的橋梁採用 Protectosil® 矽烷類的防護劑，如中國、日本、印尼、新加坡、歐美等國家（圖三）。矽烷的疏水化處理已經被列為海港工程、核電廠以及高速公路的混凝土表面防護標準，而台灣在這方面仍然相對落後亞洲其他國家。



圖三 各國採用矽烷類防護劑案例

使用滲透型腐蝕抑制劑 可抑制內部鋼筋腐蝕

混凝土表面的防護固然重要，但並不是每一棟建築物都能夠在健康的狀態下，阻絕外來的腐蝕因子，尤其是長時間暴露於高腐蝕環境 RC 結構物，內部鋼筋的狀態通常都非常嚴重，進而導致鋼筋外漏、混凝土剝落（圖四）、結構強度下降。除非外觀已經開始產生肉眼可視的狀況，不然內部鋼筋的狀況檢驗是非常困難的，目前最常使用的方法為腐蝕電流密度與腐蝕電位的檢測，其中腐蝕電流密度檢測的評定標準如表三所示。

表三 腐蝕電流密度檢測評定標準

Corrosion rate μA/cm²	Corrosion level	Time to visible deterioration
< 0,2	passive conditions	-
0,2 – 0,5	low corrosion	> 10 years
0,5 – 1,0	moderate corrosion	3 – 10 years
> 1,0	high corrosion	< 2 years

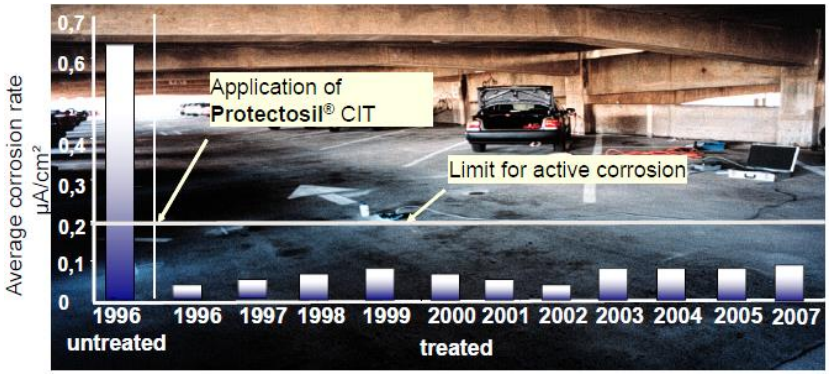
如何抑制內部鋼筋的腐蝕一直是業界的一大難題。而使用滲透型的腐蝕抑制劑，在國外其實已經行之有年，能夠在不敲除大部分仍健康的混凝土狀況下，有效針對內部的鋼筋進行腐蝕抑制，同時在表面生成一有效的疏水層，防止因為後續外在水分侵入，溶出鋼筋再次鈍化的化學物質。



圖四 鋼筋鏽蝕造成混凝土剝落情形

1960 年由美國 Pennsylvania 建造的停車場，在 1996 年檢驗內部鋼筋腐蝕電流密度為 0.7 um/cm^2，已經被認定為中度腐蝕，3~10 年內就會產生肉眼可見的混凝土損傷，結構強度會隨著腐蝕的加快而迅速下降（圖五）。後來經由施做滲

透型腐蝕抑制劑，逐步將腐蝕電流密度降低，這也意味著將內部鋼筋做再次鈍化，可有效抑制腐蝕，達到延伸使用年限的作用。



圖五 內部鋼筋腐蝕電流密度檢測情形

有別於一般的處理方式，此類滲透型鋼筋腐蝕抑制劑，能夠以較少的工序，達到更佳抑制鋼筋腐蝕的作用。快速施做也是這類型材料的優點之一，如美國的 Commodore Bridge 於 2002 年全面施做滲透型鋼筋腐蝕抑制劑（圖六），僅需短暫停止單邊通行 4 小時，便完成施工，大幅度降低了對於交通的影響。



圖六 美國 Commodore Bridge 施作滲透型鋼筋腐蝕抑制劑情形

國際肯定矽烷疏水化處理 國內有待推廣

由於缺乏對這類產品的使用經驗，目前國內公共工程對於矽烷的實際使用案例並不多，但是在許多的私人建案、古蹟防護的應用上，則是逐年增加。不論是使用在新建的混凝土鋼筋結構或者滲透型的鋼筋腐蝕抑制劑，皆能夠大幅降低養護費用。國內相關單位每年花費在公共工程如港灣、碼頭、橋梁的養護費用十分

可觀，而相較於國外長期以來的統計數字，矽烷疏水化的處理費用約只為定期養護費用的 3~4 成。因此矽烷疏水化處理在國際上被認定為有效且經濟的混凝土防護技術，也被越來越多國家製定為公共工程必需的材料要件之一。

矽烷疏水化處理，在國外已有超過 20 年以上實際應用的經驗，1994 年 NCHRP 第 209 號調查全美各州混凝土路橋經常使用及認可的材料中，以矽烷為最多，占其中的 33%。相信透過國外廠商不斷的引進新技術以及更多的成功案例，這類型的新型防護材料能夠為台灣的營建工程帶來一股新氣象。

氣候暖化的趨勢—從 2019 年談起

汪中和 中央研究院 地球科學研究所兼任研究員

世界氣象組織 公布全球氣候警訊

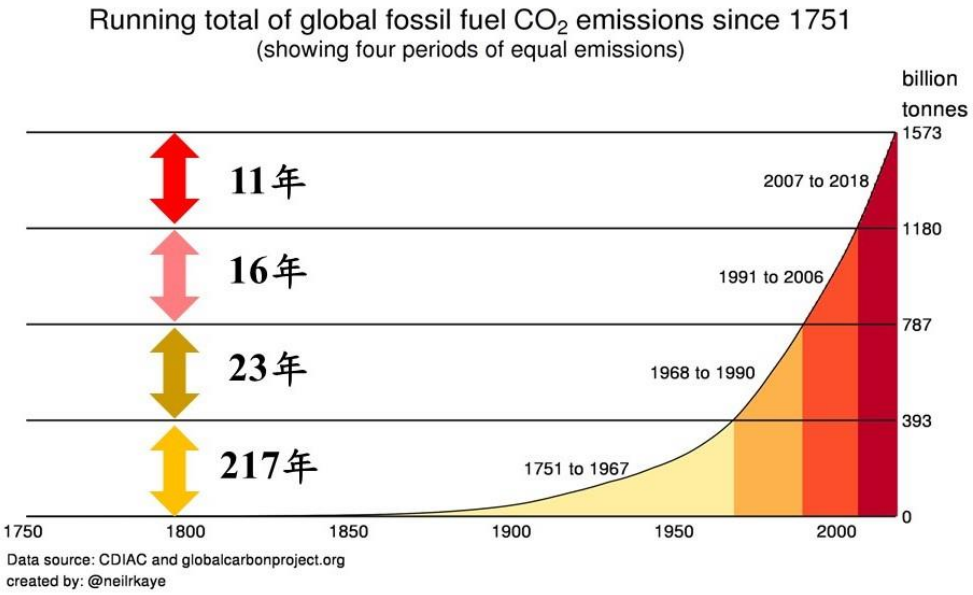
今年（2019）3 月 28 日聯合國世界氣象組織公布「2018 年全球氣候狀況聲明」，指出全世界正面對的 7 大警訊（圖一）：（1）大氣層溫室氣體濃度持續上升並迭創新高；（2）過去 4 年（2015、2016、2017、2018）是有溫度紀錄以來的高溫前 4 名；（3）2018 年的年均溫比工業革命前的基準值整整提高了 1℃；（4）海洋累積的熱含量達到新峰值；（5）各大陸的高山冰川正在快速縮減；（6）北極與南極圈的海冰面積持續降低；（7）全球海平面升幅在 2018 年再達新高值，上升率日益加速。以上皆是令人心情沉重的環境警鐘，進入 2019 年，這些指標依然繼續聲聲的鳴響。



圖一 世界氣象組織公布 2018 年全球氣候現況 7 大警訊。
（資料來源：2018 年全球氣候狀況聲明）

溫室氣體排放量 呈指數型成長

首先觀察溫室氣體的排放。2018 年全球溫室氣體排放量高達 371 億噸，比 1751 年至 1895 年間共 145 年的排放總量（362 億噸）還要多。從 1751 年至 2018 年，全世界排放到大氣層的 CO_2 累積已高達 1 兆 5 千 730 億噸（圖二）；若將其分成 4 等分（每等分約有 4000 億噸），第一等分的累積時間為 217 年（1751 至 1967 年），第二等分的累積時間為 23 年（1968 至 1990 年），第三等分的累積時間只有 16 年（1991 至 2006 年），第四等分的累積時間更縮短為 11 年（2007 至 2018 年）。這種指數型的成長趨勢清楚的呈現出，隨著經濟的發展，排放量日益增高，速率也越來越快了。



圖二 從 1751 年至 2018 年全世界排放到大氣層的 CO_2 累積量分成 4 等分，每等分累積的年數從開始的 217 年快速縮短到近期的 11 年。
（資料來源：取材自 Neil Kaye 的 Twitter 網頁）

溫室氣體大量排放的不幸結果，就是大氣層的二氧化碳濃度不斷向上攀升。2019 年 4 月，夏威夷 Mauna Loa 觀測站所量到的大氣層二氧化碳濃度月均值又創歷史紀錄（413.52 ppm），預計 5 月時二氧化碳濃度月均值可能會接近 415 ppm，這是 300 萬年以來的最高值，也顯示大氣層的溫室氣體濃度確實增長太快；加上太平洋從去年 11 月以來發展的弱聖嬰現象，海洋釋出額外熱能到大氣層，因此

2019 年又會是一個高溫年。目前初步的觀測結果顯示，今年 1~4 月的均溫排名為歷年紀錄的第三位，未來幾個月的演變仍有機會使 2019 年的排名繼續竄前。

第 21 屆「聯合國氣候變化框架公約」締約國大會（COP21）於 2015 年通過「巴黎協定」的最重要共識，就是以工業革命起始的 1750 年為基準，把在本世紀結束時的暖化溫控目標設定為「限制在 2℃ 甚至 1.5℃ 以下」。然而自 2015 年以來，地球表面升溫幅度已經超過 1℃，2019 年也不會例外。如果以目前溫室氣體排放的速率持續下去，預計 2030 年至 2052 年之間地表的升溫就會達到 1.5℃ 的門檻。

聯合國政府間氣候變化專門委員會（IPCC）在 2018 年 10 月發布了「全球暖化 1.5℃ 特別報告」，特別針對高溫熱浪、空氣汙染、冰蓋消失、海平面上升、海洋酸化加劇、農作物產量減少等風險進行評估，明確指出若僅升溫 1.5℃ 確實可以大幅降低這些不利層面的傷害，尤其對經濟基礎薄弱、極端事件影響大的島嶼國家以及開發中國家更為重要。否則一旦邁過 2℃，無論是已開發還是開發中國家，都會受到氣候極端變化日益加劇帶來的重大影響和損失。

然而，要把升溫控制在 1.5℃ 以內，完全取決於世界各國在未來 30 年能否快速且大幅減少溫室氣體的排放，並在 2050 年時達到溫室氣體「零排放」（也就是排放和吸收完全相抵）的目標。這是極為艱鉅的任務，但是我們沒有迴避的餘地，世界各國只能協同一致盡力去達成。

海洋暖化加速 衝擊生態環境

在海洋暖化方面，今年 1 月相繼有兩篇科學研究發表在重要期刊上，引起各界極大關注。第一項研究是將海洋暖化的評估回溯至 1871 年，發現過去 150 年以來，海洋所吸收的總熱能約為 4.36×10^{23} 焦耳，相當於 69 億 1 千萬顆廣島型原子彈的能量，也就是現今世界每年消耗能量的 1 千倍，顯示我們過去嚴重低估了海洋的暖化程度，實際狀況比我們理解的要嚴重許多。

第二項研究則發現，2018 年不但是海洋增溫最高的一年，長期以來的海洋暖化已經帶來了許多環境問題，如海平面上升、強降雨事件增加、颱風強度加劇、珊瑚礁白化和兩極地區冰層融化，這些都是傷害生態環境的重大衝擊。尤其是極區的冰層融化現象，不但十分強烈並且還在加速。

以南極大陸而言，從 1979 年到 1989 年，因為暖化，每年平均融掉 400 億噸的冰層；但是從 2009 年至 2017 年，融冰量已經增高了 6 倍以上，每年消融掉 2520 億噸。曾經被認為是相當穩定的南極大陸，也正開始加速流失冰層，令人格外擔憂。未來海平面上升的程度一定會大幅高於先前的估計，今年 5 月的最新研究就指出，本世紀結束前，若我們不做好節能減碳的工作，控制好地表的升溫幅度，海平面上升的幅度將上看 2 公尺，這將是世界各國沿海低窪地區未來一定會面臨的可怕噩夢。

今年才邁入第二季，世界各處已經分別展現出讓人不安的極端天氣現象。首先，南半球普遍出現破紀錄夏季熱浪，尤其澳洲今年的夏季高溫打破有史以來紀錄，遠超過位居第二名的 2013 年，完全出乎氣象單位的預測。這種高溫現象隨著季節的變換，目前正向北半球移轉，南亞大陸、日本、中國大陸華北地區都已經出現了夏季之前的炙熱高溫，也預示了今年的夏季會有令人難以承受的熱浪挑戰。

海洋歷年來所累積的龐大熱能，因強烈的蒸發作用使得熱帶低氣壓更容易形成，如 2018 年 9 月 11 日地球的三大海洋曾經同時出現 9 個熱帶低氣壓的奇觀。在適當的大氣條件配合下，熱帶低氣壓就會增強成為颱風、颶風或是氣旋。在南半球的印度洋，今年高溫的海洋就孕育了 14 個熱帶氣旋，不但打破歷史紀錄，強風豪雨也造成幾百萬人流離失所。

全球氣候災難紛至 引以為鑑

例如非洲東南部的莫三比克、辛巴威、馬拉威三國，在 3 月中旬被熱帶氣旋「伊代」（Idai）侵襲，時速高達 195 公里的強風夾帶豪雨，吹毀房舍淹沒城市，近百萬人無家可歸，有人形容這次災難為非洲的「卡崔娜」事件。沒想到才隔 40 天，熱帶氣旋「肯尼斯」（Kenneth）在 4 月 23 日，竟於短短 24 小時內從「一級氣旋」快速升級成為「四級氣旋」（強烈颱風），挾著中心風速每小時 220 公里的強大威力，於 4 月 25 日再度登陸莫三比克，也讓「伊代國難」的救災還沒結束的莫三比克，再度遭到重創。新聞報導了流離失所災民的沉痛控訴：「沒有食物、沒有飲水，沒有家園、更沒有救援。」這正是當地政府事前缺乏警覺預備，事後救助無方的典型案例，我們要引為鑑戒。

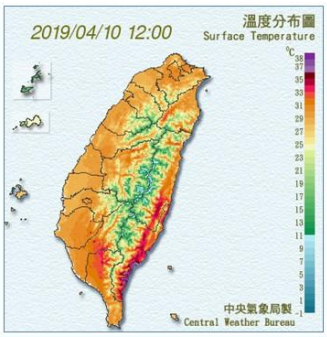
除了南半球的慘況，北半球當然也不平靜。美國今年上半年飽受暴風雪、龍捲風、豪大雨的侵擾，洪澇也肆虐伊朗、阿富汗、巴基斯坦、印尼及中國大陸西南、華南等地區，帶來土石流、屋毀人亡的嚴重災情。高溫乾旱亦使森林野火更加猖狂，中國大陸四川涼山及韓國江原道的森林火災在 4 月間分別發生風向突然快速改變，消防人員應變不及，造成大量人員殉職及建築物燒毀的慘重損失，這是亞洲地區過去罕見的情形，也是新的警訊。

德國看守協會（Germanwatch）在去年 12 月第 24 屆聯合國氣候變化大會期間發布的「2019 年全球氣候風險指數」報告顯示，1998 年至 2017 年之間，全世界共發生了 1 萬 1 千多次極端天氣事件，造成超過 52 萬 6 千人死亡，帶來的經濟損失約為 3.47 萬億美元。換句話說，全球暖化所帶來的各種自然災害，不管是富國、窮國、大國、小國都無法逃避，也沒有地方躲藏。德國慕尼黑再保險集團也估計，2018 年的高溫熱浪、森林野火、乾旱、強降雨、颱風、地震與海嘯等自然災害已經造成總計 1600 億美元（約新臺幣 4.9 兆元）財務損失，並奪走 1 萬 400 條人命。尤其美國因為東海岸強烈颶風及加州野火的衝擊，已經連續兩年蟬聯自然災害經濟損失最慘重的國家，顯示再強大的國家，面對自然災害的重擊也必須謙卑低頭。

反觀台灣，在 2018 年西太平洋有 29 個颱風生成，卻沒有 1 個登陸侵襲台灣；過去一年，除了 2 月的花蓮地震及 8 月的 823 水災以外，我們沒有其他的重大天災，這是何等幸運！但是我們卻不能就此掉以輕心。

台灣 40℃ 高溫及超大豪雨提前報到

因為自有氣象紀錄 123 年以來，台灣今年經歷了最暖的一個冬季及春季。4 月 10 日受到西南氣流過山的焚風效應，造成氣溫上升、相對溼度明顯下降的天氣現象，台東地區當天有 9 個測站的氣溫超過高溫日的門檻（35℃），太麻里的金崙測站甚至飆到 40℃，是台灣首次在 4 月就出現 40℃ 的高溫紀錄（圖三），顯示夏季的腳步已經來的越來越早了。





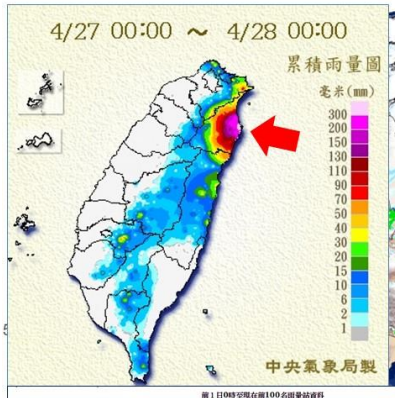
2019/04/10 00:00 ~ 2019/04/10 16:33

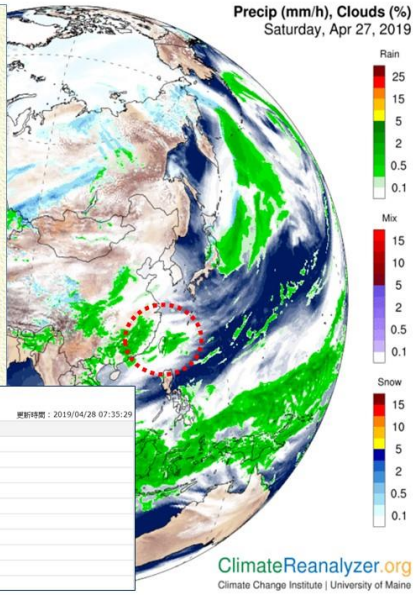
更新時間: 2019/04/10 17:52:04

排行	溫度	觀測時間	測站名稱	測站代碼	所在地
1	40.0	11:30	金崙	C0S79	臺東縣太麻里鄉金崙段304-1地號
2	38.6	12:09	大武	46754	臺東縣大武鄉大武街115號
3	36.8	12:10	月眉	C0V26	高雄市杉林區月眉里山仙路1號(杉林區月眉段2181號、月眉農場)
4	36.7	13:20	關山	C0S89	臺東縣關山鎮(親水公園)
5	36.7	10:50	南田	C0S84	臺東縣達仁鄉南田村(南田風景區公園對面)
6	36.4	12:10	大溪山	C0S77	臺東縣太麻里鄉多民村(原中華電信轉播站旁)
7	36.0	12:40	三地門	C0R15	屏東縣內埔鄉水門村成功路83號(國立內埔農工)
8	35.7	11:10	寶明果園	72S59	臺東縣卑南鄉改良場路36號
9	35.5	11:16	斑鳩分場	72S20	臺東縣卑南鄉美農村17號
10	35.4	12:31	臺東茶改	82S58	臺東縣鹿野鄉龍田村北二路66號
11	35.2	12:30	池上	C0S74	臺東縣池上鄉新興村104號(退輔會臺東農場)
12	35.2	10:50	甲仙	C0V25	高雄市甲仙區(甲仙國中後山)
13	35.2	09:50	清水林道	C0Z32	花蓮縣卓溪鄉清水林道北側山區(新生段1地號)
14	35.1	11:50	北寮	C0O83	臺南市南化區北寮里48-4號

圖三 4 月 10 日受到西南風過山的焚風效應，台東地區有 9 個測站的氣溫超過高溫日的門檻（35℃），太麻里的金崙測站甚至飆到 40℃。

（資料來源：中央氣象局網頁)





前1日0時至現在雨100名雨量站資料

2019/04/27 00:00 ~ 2019/04/28 07:30

更新時間：2019/04/28 07:35:29

排行	雨量(毫米)	測站名稱	測站代碼	所在鄉鎮
1	531.5	蘇澳	46706	宜蘭縣蘇澳鎮港區路1號6樓(蘇澳港行政大樓)
2	407.5	永樂國小	81U91	宜蘭縣蘇澳鎮永樂路1號，水保局
3	309.5	東澳嶺	C1U84	宜蘭縣南澳鄉(東澳嶺管區)
4	288.0	冬山	C0U91	宜蘭縣冬山鄉冬山路98-5號(冬山消防分隊)
5	283.0	冬山	01U13	宜蘭縣冬山鄉冬山村(水利會冬山工作站)，第1河川局
6	271.5	烏石鼻	C1U83	宜蘭縣蘇澳鎮(南澳事業區11林班)
7	240.5	五結	C0U78	宜蘭縣五結鄉錦民路1號(五結國小)
8	239.5	東澳	C0U76	宜蘭縣南澳鄉東岳村蘇花路三段209號(東澳國小)
9	236.0	新寮(1)	01U12	宜蘭縣冬山鄉中山村中山路126號，第1河川局
10	230.0	新寮	C1U69	宜蘭縣冬山鄉(中山基地附近)

圖四 4 月 27 日台灣東部外海豐沛水氣，在偏東風吹拂及地形舉升作用下，宜蘭降下豪雨，蘇澳測站更達超大豪雨等級。(資料來源：中央氣象局網頁）

4 月 27 日台灣東部外海有豐沛水氣經過，在偏東風的吹拂及地形的舉升作用下，宜蘭降下豪雨，蘇澳測站更達到超大豪雨（> 500 mm）的等級（圖四），

這是 2019 年台灣第一個超大豪雨事件，卻發生在梅雨季之前！在 4 月期間台灣就接連發生 40℃ 高溫、超大豪雨的極端事件，提醒我們氣候變化的壓力真是越來越大了。

台灣在氣候變遷與自然災害方面的風險原本就高，如今在全球持續暖化的情勢下更是凶險，今年已經相繼出現了台東高溫、宜蘭豪雨、花蓮規模 6 的強震，接下來的颱風季節更是不可輕忽，要隨時注意氣象單位的警訊，做好應有的準備。除了政府的災防機構外，我們呼籲有規模的單位要成立專責的環境小組，經常檢視自身面對極端天氣、洪澇、強颱、地震等災害的防範能力，及早強化不足的地方；不但成為能夠防災、抗災、避災的韌性單位，另方面還能成為附近社區的後盾。這是回應氣候極端變化、災難日益增多，最具體及有效的因應行動。

參考文獻

1. World Meteorological Organization（WMO），*WMO Statement on the state of the global climate in 2018*，2019, 39pp.
2. The Intergovernmental Panel on Climate Change（IPCC），*Global Warming of 1.5℃ Special Report*, 2018, 26pp.
3. Zanna, L., Khatiwala, S., Gregory, J.M., Ison, J. and Heimbach, P., *Global reconstruction of historical ocean heat storage and transport*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2019, 116（4）1126-1131.
4. Rignot, E., Mouginot, J., Scheuchl, B., van den Broeke, M., van Wessem, M.J. and Morlighem, M., *Four decades of Antarctic Ice Sheet mass balance from 1979–2017*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2019, 116（4）1095-1103.
5. Bamber, J.L., Oppenheimer, M., Kopp, R.E., Aspinall, W.P. and Cooke, R.M., *Ice sheet contributions to future sea-level rise from structured expert judgment*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2019, https://doi.org/10.1073/pnas.1817205116.
6. Eckstein, D., Hutfils, M. and Maik Winges, M., *Global Climate Risk Index 2019*, Germanwatch, 2018, 36pp.

以能源為主軸的生態都市設計

楊沛儒　美國喬治亞理工學院 城市與區域規劃系／建築系副教授
ESD 生態系統都市計畫技師事務所 都市計畫技師

都市系統已經成為解決能源問題的核心場域。如何建立能源系統分析，將自然系統的能源、物質、水以及生物流動，應用於高密度的都市環境，落實於具體的都市設計與開發，成為當前重要課題。面對混雜地景及人為影響，自然系統已被技術的力量所穿透，而成為一種人造的生態環境。與之相反的思維，則是當代城市急需以生態學為基礎來重建，即使在一個幾乎完全人造的都市環境中，應將能源視為系統最核心的議題。所有的都市設計、建造與開發任務，以能源議題為核心來思考生態都市設計方法。藉由塑造各種尺度的空間形態，來改變生態及能源流動的方式，生態城市設計不僅僅是消極保護自然，更應積極在現代都市空間結構中，以再生設計的手法，重建能源流動、物質流動、水文流動、生物流動、人流動及資訊流動的作用，以流動來生成空間形式（flow generates form）。本文提出一個以能源為核心的生態都市設計框架，包含空間形式經驗、地景結構、能源物質流動、空間尺度及時間維度等五種設計條件，以面對大尺度都市設計開發問題。

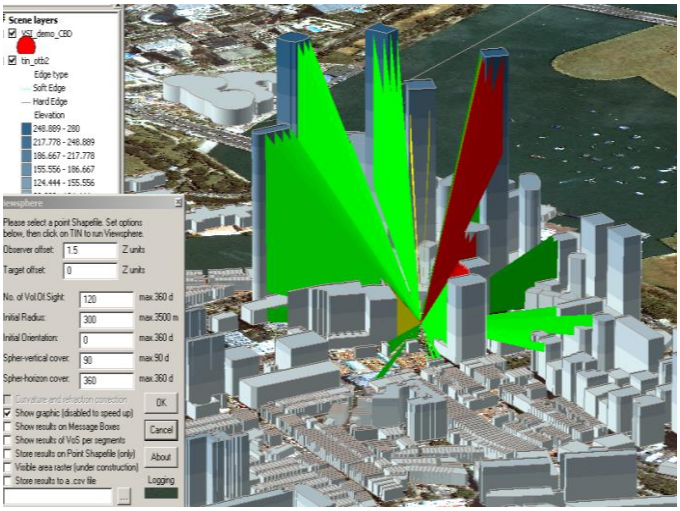
一、空間形式經驗

空間形式隱含生態效應。我們須掌握城市空間的幾何形式，及其與自然系統運作之間的關係，方能具備操作生態化城市設計的能力。人為規劃的作用產生許多直線直角或矩形的空間組織；生態的過程與作用力則以地形為平台，催化出自然空間模式（Forman, 1995）。這種地景生態學者的直觀，深邃透視空間形式背後的力量及過程，解密空間形式、流動與時間三者之間的相互關係。人為所塑造出來的空間形式，往往對自然系統進行壓制，一旦從生活場景中消失後，人們對自然環境的流動便會失去空間經驗與記憶。

■視域集水區分析

早在 1976 年，麻省理工學院的凱文林區在「經營區域感覺質量」一書中，即已討論了城市環境的感覺經驗模式，將如何形塑地方並經營區域的發展（Lynch, 1976）。林區所提出的視域集水區分析，測繪出在起伏不定的地形中景觀視點的可視性範圍，預見了我們對大尺度城市環境精準分析的需要。這種方法無法由直觀的透視圖、平面影像或動態影片所取代。今天因數位科技的發展，我們已經可以用地理資訊系統或其他工具來操作視域集水區分析。尤其在城市環境中嵌入生態元素與系統，如動態人工濕地環境、城市滯洪池的設計及城市已開發地區的淹水模式分析等，微地形的精細度對於分析的有效性十分重要。

同樣的技法，可以應用於城市格網系統所產生的環境。格網是一種彈性的城市空間發展框架。紐約曼哈頓以 200 x 600 feet 為標準的街廓規劃為城市格網系統的先驅，於 1916 年發展出最早土地使用分區管制規則。其彈性的格網系統，承載了多樣化的類型與機會，這種模式並影響了一個世紀以來無數的城區設計與發展。新加坡新都心的核心區方案（圖一）考慮恰當尺度的街廓，其中一面街廓較短，形成緊湊商業街面對水岸；另一面街廓較長，以容納住區。格網系統彈性發展，鼓勵有機生成適宜城市空間活動及品質。



圖一 視域半球體分析：新加坡新都心核心區街廓系統（Yang et al 2007）

■天空開放度分析

城市格網及街廓的三維城市即一種人工地形，同樣可以展開視域集水區的視線，測出障礙點以及視域範圍面積。三維城市做為一種人工地形，也同時產生一種人為的生態環境及微型氣候。我們進一步將這個分析從二維的視域集水區，拓展為真正三維的視域半球體，測算出人在城市空間中可視性涵蓋空間大小。城市地景空間，在此被理解成為一種可視的連續性場域（continuous field），而非歐基里德幾何（Euclidean geometry）。空間形式經驗則由人體移動與幾何之間的交互作用所產生（Gibson, 1986）。視域半球體三維的空間場域分析，從人類知覺經驗的角度出發，對於環境行為的預測如時間感等有更準確的判斷（Yang et al, 2007）。將可視性推展到天空開放度分析，以探討地塊開發密度、空間類型以及能源績效三者的互動關係，藉此做為都市設計決策的依據。

二、 地景結構

都市空間的第二種生態面向，為地面的物質表層。就微觀的基地尺度，地表上的材質為植被、土壤、鋪面、水體、建築樓版及牆面等；而大地景觀的尺度，從衛星照片看下來，地表則有如馬賽克一般多樣化的土地嵌合體，嵌合了各種土地使用與地表係數不同的表層。以地景生態學來看，這是任何生態及城市化的過程中都會產生的地景分異化（landscape heterogeneity）現象。永續環境的經營，需要根本理解土地嵌合體的變化及其動力。這種都市生態系統之間的兼容共生關係，也可以應用於園區尺度的城市環境。

■台北植物園共生自然方案

台北植物園位於台北老舊城區，有如在高密度城市肌理中鑲嵌了一個生態斑塊，生物多樣化異常豐富且極限壓縮在一個範圍有限的表層，僅 13 公頃的地表卻擁有 1500 多種植物。台北植物園國際競賽的「共生自然」方案，以多層次的動線引導人的運動，讓視覺經驗穿梭於植物群落及高度不同的垂直分區之間（圖二）。由熱帶植物、溫帶植物、高冷植物、濕地環境等各類型種微環境控制植物區，組成水平面的共生網絡，其間的功能性關係類似於一個微型的產業生態系統。植物園本身成為廢熱、養分、水的循環再利用裝置，追求系統的優化效率。從這個例子可以看到物質表層在微觀的城市空間中，仍可設計一種系統複雜性

高、垂直多層化、水平網絡共生的生態裝置系統，作為城市生態化的觸媒，對於老舊城區的環境帶來正向的影響。



圖二 台北植物園國際競圖「共生自然」方案
（ESD 生態系統城市設計／都市計畫技師事務所+ Tan Beng Kiang + Sensing Places + TKC, 2006）

三、 能源物質流動

高密度城市核心區可以視為土地嵌合體架構中，能源及物質流動高度集中的策略性區位。都市空間正是物質流動的載體，都市化的過程中，物質流動的分析、系統設計及時間管理，為城市環境永續發展重要的一環。特別是與全球暖化相關的都市碳流動分析，以及城市設計與發展如何採取低碳（low carbon）及去物質化（dematerialization）策略，目前已成為眾所矚目的核心議題。結合地理資訊系統及生命週期評估方法（LCA）來操作，將不同尺度的城市空間階層由大至小視為主系統與次系統的關係，來估算都市、地區及街廓等不同尺度空間在城市化過程中物質流動的累積存量與分布，追蹤如鋼筋、混凝土與級配等物質，並可據以推算碳的流動、存量及其分布。不同土地開發的使用及空間類型產生不同的資源使用效率，在營造前的設計與規劃階段，即應考慮如何極小化物質消耗及提高能源效率的策略。

物質流動的分析，體現了城市化在地表上進行大尺度的空間轉型及其後果。我們究竟該如何因應這個過程，以開展可持續的發展策略？都市化的物質流動其實跨越營建產業體系所生產的物質空間。都市作為一種系統，和更大範圍的產業系統及自然系統之間應有極密切的互動關係。產業生態學（industrial ecology）以生態系統來比擬工業生產過程，強調系統內各個參與主體之間，需協調整合物質、能源、水與副產品之間的再利用，以生命週期分析（LCA）為基礎的時間管

理，來達到產業系統的共生（industrial symbiosis）（Chertow, 2000）。城市的新陳代謝系統（urban metabolism），即類似於一種大尺度的產業生態系統（industrial ecosystem），以物質、能源、水的流動為基礎，創造不同系統之間的兼容性，讓城市系統的流動與自然系統之間產生綿密的綠色鏈結網絡。

四、 空間尺度

上述的生態流動及其效應，橫跨區域城市結構、地景單元到建築空間等不同尺度。由於系統的複雜性與不可預測性，生態都市設計強調環境脈絡，必然具有跨尺度的性質。哈佛大學景觀建築系教授 Carl Steinitz 累積他多年在景觀規劃設計的教學實踐經驗，提出空間尺度與系統複雜度關係的分析架構：某一空間尺度的現象、過程與設計策略，不見得適用於另一種空間尺度。空間尺度愈大，其科學複雜性通常愈高；而空間尺度愈精細，環境愈容易為使用者所知覺且認識（Steinitz, 2008）。

我並不贊同 Steinitz 認為尺度大的規劃多屬防衛性、尺度小的空間才能以設計介入的看法。生態設計之所以有別於傳統都市設計的幾何性設計，正在於其穿透各種尺度、分析並處理跨尺度生態效應的能力。但 Steinitz 所提出關於生態設計背後所需的分析，卻具備跨尺度的性質。若以複雜度為指標，依順序逐漸由弱而強，都市設計方案需含括以下八種分析模式：

1、直觀描述：對於空間的直接描述
2、主題分析：有關空間區位分布及量化指標
3、垂直環境因子：地形地貌、土壤、植被等因子的垂直疊圖
4、水平網絡關係：地景的形狀與大小的分析
5、空間階層分析：不同空間尺度範圍的描述
6、時間模式：時間的過程
7、調適模式：系統的漸進式改變
8、行為模式：行為與環境的關係與交互影響（Steinitz, 2008）

■高雄碼頭水岸更新方案

高雄 1-22 號碼頭水岸更新的設計方案，即充分發揮第一類「直觀描述」的分析模式（圖三）。以多層次城市意象的疊合，描繪港灣的大尺度空間格局，及其未來發展。這種技法試圖以單一的景象塑造來傳達複雜的空間格局與變遷，包括：以加入新的帶狀線形空間結構做為前景；以極簡的都市天空線輪廓，傳達出充滿未來性的城市意象；對比於高雄港區海岸線工業港口設施，襯托出綿延不絕的城市與工業發展的肌理做為背景，象徵了第一線水岸成為城市整體更新再造的啟動器。依此重新定義高雄轉型為水岸城市，其下一階段的空間意義與社會任務。



圖三 高雄 1-22 號碼頭水岸更新設計
（ESD 生態系統城市設計／都市計畫技師事務所, 2006-2014）

空間的複雜性無法以單一的設計來落實，但卻有必要預先設定跨尺度的生態空間發展框架，從時間管理過程中不斷調整。著名的理論學者 Jane Jacobs 曾在「美國大城市的生與死」一書中，反對現代主義城市的功能性規劃與發展方式太過強調單一的分區功能，產生失去地方感的環境。她倡議城市應追求一種類似生命科學「有組織的複雜性」（organized complexity），有別於許多市中心城區「失序的複雜性」（disorganized complexity）（Jacobs,1961）。這種有秩序且複雜度高的都市空間，是一個尺度親密且可激發各種互動的空間場域，充滿各種自由的流動，其空間框架存在一種秩序，容許在其中填入多樣性的使用，並能適應環境以產生各種變遷的可能性。值得注意的是，「有組織的複雜性」無法從無限多的隨機變數與因子有機互動而成，我們仍須掌握少數幾項關鍵的控制因子與過程，例如公共空間框架與生態基礎設施，使系統的自我組織性（self organization）能在這些生態原則的規範下成長，讓豐富的多樣性從此框架中漸進發展。都市雖然有機，但人為有意識的介入經營是必要的。

我們比較困惑的是，「有組織的複雜性」在不同尺度空間之間，究竟有何系統性關係？生態流動放置在 Jane Jacobs 所描繪的城市空間中，有何設計上的意涵？例如，高密度且有活力的空間能否支持生物多樣性？或者，以生態流動所產生的新都市地景，其當代的文化意涵為何？我們只能想像，以生態思維所產生的空間，將會是一種繁複的物質表層，彷彿是一種豐富多彩的城市馬賽克，鑲嵌在更大的大地景觀或土地嵌合體的空間框架之間。生態可以滲透浸入都市空間中，使得能源流、人流與資訊流得以和各種生態流動交錯互動，形成多層次的表層，構築出多尺度且「有組織的複雜性」。

五、 時間向度

尺度與系統複雜性，包含了時間的向度（temporal dimension）。生態設計必須處理自然系統在時間的變動過程，及其動態的不確定性（uncertainty）。因此，如何對應時間過程的變數，往往比靜態的空間形式與短暫的結果更為重要。第五個維度，處理環境空間調適及變化的過程，包括生物有機體以及人類的活動，都具有環境調適以及主動創造條件的作用力。而永續環境的進程，需設定在一到兩個世代的時間歷程，透過生態環境管理及規劃行動來達成（Forman, 1990）。

在自然系統中，各種生態流動過程都有其時間尺度。各種生物生命週期、演替過程的時間及空間尺度具有一定關係。通常更大尺度的生態過程，需持續較長的時間。都市能源系統的設計及管理的時間跨度較短，亦需要考慮時間向度及系統的韌性。都市系統的能源使用、生產、儲存，及如何減低峰值用電量、提高再生能源使用與分佈式能源設計（distributed generation），在災害來臨時提供系統的韌性度，皆是都市系統設計核心問題。以近零能耗及近零碳系統為目標，都市的碳評估則須拉長到全生命週期評價，不僅考慮營運期的能源使用，也須考慮材料生產、運送、興建、回收過程的隱含能源（embodied energy）。

因應氣候變遷、永續發展 生態都市設計以能源為核心

以能源為核心的生態都市設計方法，可以幫助我們看清當前全球性的都市蔓延、氣候變遷與永續發展對策等問題，在面對巨大空間尺度、急劇時間壓縮、自然與都市發展關係交錯複雜時，能夠提出有效的解決方案。

參考文獻

1. Forman,R.T.T.（1995）Land Mosaics-The Ecology of Landscapes and Regions, Cambridge University Press.
2. Gibson J.J.（1986）The Ecological Approach to Visual Perception（Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ）
3. Chertow M.R.（2000）“Industrial Symbiosis：Literature and Taxonomy”,in Annual Review of Energy and the Environment 25: 313-37.
4. Jacobs J.（1961）Chapter 22：The kind of problem a city is, in The Death and Life of Great American Cities,originally published Random House.
5. Lynch K.（1976） Managing the Sense of Regions（MIT Press, Cambridge, MA）
6. Steinitz, C.（2008） On Scale and Complexity and the Needs for Spatial Analysis, Working Paper, Harvard School of Design.
7. Yang,P.P.J., Putra S.Y.,Li W.（2007）Viewsphere：GIS-based 3D visibility analysis for urban design evaluation. Environment and Planning B：Planning and Design, Vol.34.

2019 i3CE 會議有感：城市資訊整合技術之分享

周敬淳　國立臺灣大學 土木工程學系 BIM 研究中心專案經理
郭韋良　國立臺灣大學 土木工程學系博士候選人
謝尚賢　國立臺灣大學 土木工程學系教授兼系主任

先進電腦輔助技術應用於營建工程

「2019 International Conference on Computing in Civil Engineering」(簡稱 i3CE 2019）於 6 月 17 至 19 日在美國亞特蘭大舉行，由臺大 BIM 研究中心主任謝尚賢教授帶領中心專案經理及學生一同參加。i3CE 是由美國土木工程師學會（ASCE）所舉辦的國際研討會，ASCE 於 1852 年成立，是歷史最悠久的國家專業工程師學會，與其他國家共 65 個土木工程學會簽有合作協議。

此次 i3CE 2019 國際研討會之論文數量有 230 篇左右，議題包括了學術範疇及營建工程之實際執行，重點聚焦於如何運用先進的電腦輔助技術於營建工程上，其範疇涵括規劃，設計、施工及營運階段，本次重點議題包含：

1. Visualization（nD,VR,AR）(視覺化技術）
2. Information modeling and representation（BIM, BrIM,CIM,GIS）(資訊模型與呈現）
3. Simulation and process modeling（模擬與模型流程）
4. Reality capture technologies（LIDAR, RGB-D, vision)（現實捕捉技術）
5. Human-technology frontier, data modeling, and computing（人類科技前沿、數據模型與計算）
6. Big data, sensing, and machine learning（大數據、感測技術與機器學習）
7. Robotics, automation,and control（機器、控制與自動化）
8. Ontologies and semantic approaches（本體論與語意）

資料分析技術：設施營運維護的機會與挑戰

人工智慧帶給各產業許多機會，這次研討會也看到許多營建產業專家正針對產業的需求，研究適切的人工智慧演算法。專題講者 Burcu Arkinci 專精於對建築與基礎設施的歷史資訊進行模擬與推理，以簡化其營造與運維流程，Arkinci 教授提出幾項 BIM 當前的研究趨勢，在此與讀者分享。

目前看到越來越多資產管理方式從被動通知到主動預測、從主觀判斷到客觀判斷，邊緣裝置的普及使得我們能從環境蒐集到的資訊量較過去更為豐富與完整，眾多資訊系統也更有機會從孤立系統朝向實體數位互動系統發展。過去，BIM 技術著重在虛擬三維空間中打造數位資訊模型，以進行模擬與預測，而現在專家們開始將目光關注於如何將真實空間的資訊，放回到虛擬空間，以達成雙向的資訊整合。舉例來說，許多人已開始利用手持設備或光打這種大範圍三維影像掃描儀器，來快速地捕捉施工現場、橋梁、道路等地方的外觀。以橋梁為例，過往要檢測橋梁結構是否健康是一件困難的事，因為橋梁檢測員需靠特殊的設備才能抵達橋梁的側邊與底面，移動的速度也無法太快，工作的困難度高且效率低，使得檢測的成本十分高昂。

■透過三維影像建立 BIM 模型

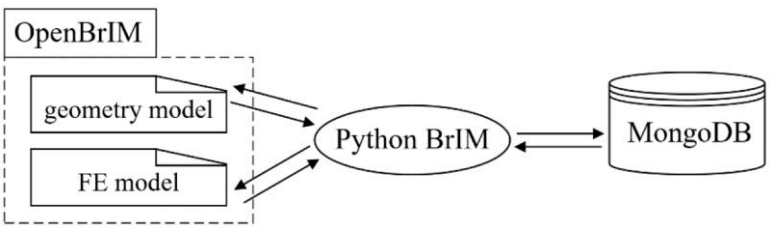
於是，研究人員想到，現在的無人機已能相當靈活精確地依指定路徑飛行，且體積輕巧，相當適合用來做橋梁檢測。研究人員首先設定好橋梁邊界外框，定義出可能會發生碰撞的飛行區域，接著讓載有掃描儀器的無人機沿著邊界外框，避開這些區域，一邊飛行一邊捕捉三維影像，如此一來，掃瞄儀器便能在短時間內獲得相當可觀且完整的三維影像資料。這些影像資料動輒數百 Giga Bytes，人工處理幾乎不可能，需要電腦自動化處理。然而，工程師們要的並不只是三維影像，工程師們在乎的是：有哪些表面是平的？影像中包含了哪些物件？物件之間的關係是什麼？物件的規格與設計是否相符？單單的三維影像資料離應用需求還有一段距離。於是研究者們開始專注在如何透過三維影像來建立橋梁資訊模型或是建築資訊模型。在電腦視覺領域已經有相當豐富的演算法做影像物件辨識，這些演算法能帶給建築資訊領域一些啟發。

■影像物件辨識技術

對於應用影像物件辨識技術於建築資訊領域，Arkinci 教授整理了三個主要的困難點。第一點，橋梁影像相當缺乏特徵。橋梁影像大多是正交的直線構成，大多的橋梁構件在影像中幾乎長得一樣，舉例來說，大梁與小梁的外觀是相當接近的。第二個困難點是，這些演算法往往需要充足的訓練用資料集，我們能透過虛擬的方式產生資料，這部分目前成果仍相當有限，但未來應能漸漸產生足夠的資料量。最後一點是，物件之間複雜的互動性與關聯性。深度學習或有機會解決這個問題，但這個方法是一個黑盒子。換個想法，或許我們能組合演算模型與專業知識，以獲得更好的結果，例如，通常柱子的上方會有梁，房屋的下方有基礎。在這樣的邏輯下，便能做更好的物件辨識與分類。辨識出物件之間的關係與互動關係是相當重要的。Arkinci 教授特別提到，若我們能搜集到結構化的三維影像資料集，則基於機器學習的方法比較能幫得上忙；但若搜集的影像標的不明確，則資料處理會相對複雜與困難許多。

橋梁資訊塑模 BrIM（Bridge Information Modeling）交互操作性

與 BIM 技術相似，BrIM 技術的發展也為營建產業的管理帶來許多效益。一般來說，BrIM 模型的發展是經由建築結構、施工等資訊整合而成。然而，在建置的過程中，模型經過許多 BrIM 專案參與者後，會降低其交互操用性。因此，Qin 為提升 BrIM 模型的交互操作性[4]，提出一個資訊交換的方法，即採用 OpenBrIM 標準，並利用 Python 物件導向的特性建置資訊的架構（這裡稱為 PythonBrIM），連結資料庫與 OpenBrIM 之間（如圖一所示）。當模型中的幾何或資料庫（MongoDB）做過更動或修改時，Python BrIM 會以同步的方式將有所關聯的資訊做同步的處理，以達資訊的統一性。



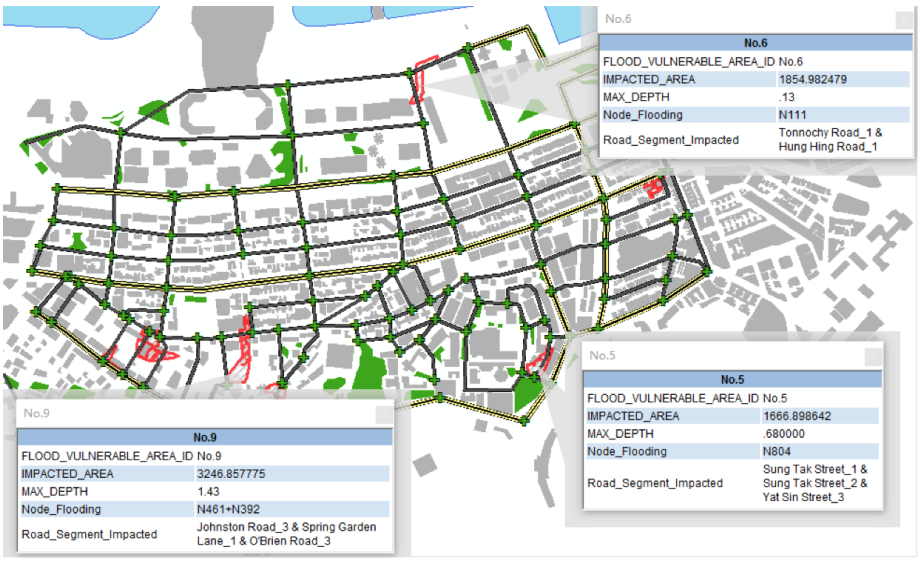
圖一 模型轉換架構

韌性及永續城市發展

在全球天災不斷的情形之下，為使城市在不確定的大自然衝擊之中（例如颱風、水災等），具備容受力（天災後將其影響最小化之能力）與恢復力（在天災過後達到新平衡狀態所花費的時間）[1]，已有愈來愈多學術專家開始高度重視城市的韌性程度，以及如何永續經營城市各個面向，而本次會議也有 73 篇相關論文收錄於論文集中。

易損性分析法（Vulnerability Method Analysis）評估韌性城市

Yang 的研究[2]以香港的地下排水系統為案例，香港因地理位置關係，長期飽受天災的迫害，像是豪大雨或熱帶氣旋，以及海平面上升等自然因素，故在排水系統設計面必須設計得非常完善，以防止排水受阻等情況發生。研究中 Yang 提供了分析方法與步驟，並考慮不同基礎設施間的交互影響，研究方式主要是利用 ArcGIS 平台整合城市排水網的資訊（如圖二所示），進行不同知識領域（Knowledge Domain）的資訊分析。從其研究中可發現，有幾項在基礎設施中會降低城市韌性的元件，可用於災後建議加以改善的部分。



圖二 ArcGIS 平台模擬香港旺角易損性區域[2]

基礎設施分佈影響城市恢復力

在 Wang[3]的研究中提到，城市中的運輸系統扮演非常關鍵的角色，也是日常生活中不可或缺的一環。因此，評估韌性城市時，運輸系統成為一個主要的標的。Wang 在這場會議中提出了一個研究框架來評估城市交通網的韌性程度，評估的項目包含交通路網、巴士系統、鐵道交通、自行車路線與人行道，有趣的是，這個構想是受到生物多樣性概念的啟發，而其主要特色則是以兩個因子作為評估的標準：(1) 功能豐富性；(2) 功能均一性。功能豐富性指的是在公有設施中功能組的豐富程度。而功能均一性則是指這些功能組在評估區域裡分佈的程度。此研究發現，交通功能多樣性高的城市，在災難期間會表現出較好的適應能力。

參訪心得

綜觀研討會發表內容，走在前端的研究者不再只是將成熟的資訊技術導入營建產業，而是已開始將這一兩年內新興的尖端技術導入，研究主題更加多元，發展速度也相當快。同時，越來越多的研究專注於系統間的資訊整合，關注的空間尺度也因而從單一構造物往規模較大的道路、橋梁等基礎設施，甚或是城市的尺度發展。以臺灣的現況來看，應用於城市尺度的技術需要政府部門的政策制定與實施才有機會實現，相較於其他國家，臺灣仍有很多需要效法與借鑑之處。

參考文獻

1. P.Lu,2016, 韌性，城市不任性：規劃專業的新思維，從荷蘭經驗談起 https://eyesonplace.net/2016/04/13/1697/
2. Yifan Yang, S. Thomas Ng, Shenghua Zhou, Frank J. Xu and Hongyang Li, 2019. Physics-Driven Based Resilience Analysis of Interdependent Civil Infrastructure Systems- A Case Study in Hong Kong, The 2019 ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering, USA.

3. Yan Wang, Armin Rahimi-Golkhandan, Changjie Chen, John E. Taylor, and Michael J. Garvin, 2019. Measuring the Impact of Transportation Diversity on Disaster Resilience in Urban Communities: Case Study of Hurricane Harvey in Houston, TX, The 2019 ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering, USA.

4. Yidong Qin, Rucheng Xiao, Yang Wang and Kincho H. Law, 2019. A Bridge Information Modeling Framework for Model Interoperability, The 2019 ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering, USA.