



編者的話

李民政

主題：水利與大地工程

大地工程是解決問題的科學，從改善人類生活為出發，協助土地開發、交通建設、工業建設、海事工程到環境工程等，水利工程亦是重要的一環。

大地工程於十八世紀前僅使用天然的工程材料，土、石、木及少量金屬，石造建築代表如胡夫金字塔(Pyramid of Khufu)，公元前2560年完成，高度146.5公尺。於十八世紀後開啟工業革命，發展出鋼筋及混凝土，工藝技術越加精進，工程設施的尺寸也越巨大，將大地工程推向更廣的領域，包括摩天大樓、高壩、跨海大橋、高岩覆隧道、海底隧道等。

但工業革命也帶來溫室氣體，導致氣候變遷，工程設施開始面臨不同的環境挑戰，住宅及交通設施需考慮洪氾位置，水利設施需考慮旱澇差異。2021年上半年面臨1947年以來最嚴重乾旱，截至5月全臺大型水庫有效蓄水量低於20%以下，除翡翠水庫尚有65%水位，各地科學園區之科技廠房因仰賴製程用水，差點面臨停工危機。下半年6月迎來3波梅雨鋒面，短時間內解除全臺水庫缺水危機，但集中降雨卻讓部分水庫滿水甚至洩洪放水。氣候變化導致主管機關面臨一手抗旱一手防汛，相對工程設施的全生命週期，包括規劃、設計、施工、營運、維護及管理也需要一併考量環境差異。2021年聯合國氣候變化大會(COP26)之重要關鍵字為淨零排放(net zero emissions)，決議預計於2050達到溫室氣體淨排放為零。為達成此目標，低碳的電力能源更顯重要。目前主要電力來源之火力發電(燃氣及燃煤)占比皆須下降，而水力發電因排碳量較低，應加以活化利用，現有水利工程設施透過大地工程手段，積極延長使用年限，可持續協助國家達成整體淨零目標。

水利工程包括水資源規劃運用與管理、地

表水及地下水開發、水利及壩堰工程、河川及防洪工程、灌溉工程、區域排水工程及水庫相關結構物安全性評估。本期專輯編撰過程中，與產官學研各界廣增邀稿，參與單位包括產業界10間企業，政府單位2間機構，學術單位2間學校及研究單位1間，多面向合作。亦瞭解水利工程重要推手實屬事業機關，即為經濟部水利署，因此邀請前水利署長與前新北市副市長陳仲賢董事長分享經驗。

本期前兩篇文章介紹水庫防淤隧道的施工，分別為水利署北區水資源局的石門水庫及南區水資源局的白河水庫，兩座水庫皆建造於1960年代左右，服役將滿一甲子，卻同樣面臨淤積嚴重問題，如何增加庫容，活化延壽，是管養單位的重要課題。

第一篇由經濟部水利署北區水資源局的江明郎局長、吳啟順課長、黎明工程顧問公司及中華工程公司團隊，論述「石門水庫阿姆坪防淤隧道工程地質與施工」，隧道總長3.7公里，主要有兩大目標：1.提升石門水庫防淤能力，每年平均清淤量達64萬立方公尺，減少水庫淤積；2.提升水庫排洪能力，排洪量增加600立方公尺/秒，確保極端水文事件下水庫之安全。隧道作業過程中遭遇困難地質，包括地層軟弱或剪裂破碎、湧水或滲水、斷層破碎帶、擠壓、煤層及有害氣體等。綜合彙整施工過程之因應對策說明，供日後山岳隧道地質災害處理參考。

第二篇由經濟部水利署南區水資源局的連上堯局長、張世賢課長、黎明工程顧問公司及利德工程公司團隊，論述「白河水庫防洪防淤隧道施工遭遇難題與對策」，隧道沿線地質軟弱，平均單壓強度約17kgf/cm²、隧道雖僅312公尺，卻設計高達6種之斷面變化，施工複雜性極高，施工團隊本於「邊施工邊設計」的

2 編者的話

理念，積極及時地應變處理。並且為節省經費，採用二個措施：1.進水口未採大型圍堰，採非汛期空庫施工，進水口以土堤外圍方式處理；2.出水口共用既有落水池，防淤隧道出水口與水庫溢洪道共用一個落水池。在工期及經費雙重考量下，本工程自2017年起動工，2019年9月完工，經過漫長之等待，終於於2021年6月23日正式啟動第一次滿庫排砂，並順利達成排砂任務。

比上述兩個水庫更老的水庫是否還在服役呢？有的，烏山頭水庫及嘉南大圳已有百年歷史，嘉南大圳穩定灌溉臺灣三分之一的西部平原，台灣世曦顧問公司周永川經理團隊及利德工程汪世輝博士團隊，論述「新烏山嶺引水隧道困難與挑戰」。因原烏山嶺引水隧道之隧道結構已日漸劣化為建立備援系統，規劃設計新烏山嶺引水隧道，隧道全長3,431公尺，困難課題包括東口河道施工圍堰、新東口堰及截水牆，因取水工為於河道，歷經颱風豪雨事件，亦造成河道地形地質多所變異；隧道施工遭遇大量有害氣體及滲水，藉由強制通風及有效管理火源、人員管制、固定式及移動式氣體監測等，處理對策應可為往後相似地質條件之隧道開挖施工之參考借鏡。本工程已於2020年9月完工通水，2021年7月藉颱風豪雨進行排砂閘門有水試運轉。

接著三篇都源自於水利署自2005年推動「臺灣地區水庫安全管理系統建置」，開啟水庫監測管理概念。在既有水庫監測系統內，評估儀器是否改善，導入新科技採用智慧監測，接著應用到安全風險評估。

成功大學土木工程學系張文忠教授及周仕勳博士，論述「物聯網於土石壩安全監測之應用」，監測儀器自動化記讀與傳輸設備與技術進步，近年隨著通訊與量測技術進步，水庫安全監測亦逐步邁向智慧化，包括物聯網(internet of thing, IoT)與雲端通訊及計算技術，以數位通訊方式改善監測資料之傳輸品質與穩定性，使得監測數據可有效即時的回饋給管養單位。長期的監測數據，透過統計分析及模擬演算，亦可協助建立水庫預警門檻值，讓監測數據不再只是當下事件的回饋，亦可應用

於未來的評估，達成主動示警的智慧監測。

經濟部水利署南區水資源局的蘇柄源副局長、蕭軒梅副工程司，帶領中興工程顧問公司團隊，論述「大壩安全風險分析實務～以內部沖蝕為例」，因為水庫對臺灣地區負擔防洪、蓄水、灌溉、發電、工業、觀光及公共給水之重要目標，依此安全評估更顯重要。透過堆填壩內部沖蝕為案例，分析壩體內部沖蝕，其可拆解為起始-繼續-發展-破壞(潰壩)四階段進程發展，採用事件樹方式，檢討潛在破壞模式，透過破壞機率，分析及評估潰壩受損，若風險是不可接受的，應採取預防或因應措施降低風險。

臺灣自來水公司第一區管理處的李政達長官，帶領中興顧問社及大壩安全國際顧問團隊，論述「舊壩安全監測系統之改善～以新山水庫為例」，協助工程人員：1.識別與大壩安全相關之關鍵部位；2.評估現有監測系統之合宜性及新增儀器之必要性；3.檢討觀測頻率之適當性及自動化量測之必要性。每個水庫的壩體都是獨一無二的，應針對壩潰決之設計、施工或地質等獨特因素加以考量，將監測系統安裝於正確位置，才能有效控管壩之安全風險，將此思維化為文字傳承，做為未來新建水壩監測計畫設計或既有水壩安全監測系統改善之參考。

臺北自來水事業處工程總隊的謝澤楨主任，帶領中興工程顧問公司及台灣海壓克工程公司團隊，論述「壓入沉箱工法於翡翠原水管工程之應用」。翡翠水庫除了支持大臺北地區用水，更在今年(2021)上半年啟動北水南送，透過石門水庫送水至桃竹地區舒緩旱象。如此重要的供水鏈地位，卻在2015年蘇迪勒颱風來襲時，南勢溪發生原水濁度達到歷年新高的39,300度，影響大臺北地區正常供水。為降低原水取水風險並提高取水穩定性，原水管隧道路線考量出水工選址，經綜合評估後採用直井型式設置，並以壓入沉箱工法進行施工，相較於傳統之開口沉箱工法，壓入沉箱工法之成本雖稍高於壓重沉箱工法，惟其具備可近接施工、安全性高、精度高、品質優良及環境衝擊小等優勢。

陽明交通大學土木工程學系的廖志中教授、

潘以文教授，及合昱工程鄭孟雄博士，論述「溢洪道下游岩石沖刷坑形狀與深度評估」，水庫滿水需溢洪放水時，水流對下游岩盤的衝擊能量相當大，因地制宜的評估及模擬分析，在設計規劃階段相當重要。溢洪道的跌水型式可以分為壩頂自由落體及陡槽跳斗式，而岩石的主要沖蝕機制有：磨蝕沖蝕、塊體抽離、顆粒彈跳沖蝕。結合流功、動態水壓衰減曲線及壓力縱向分佈方法，可掌握跌水能量在水平及垂直方向的分佈情形，亦可將分析成果回饋未來新建設計參考。

水利工程源於水，工程面臨到地下水問題的案例時有所聞，其解決方法也是需配合案例之地質特性，本期亦收錄土壤液化案例「2018.9.28 印尼 Palu-Donggala 地震 Petobo 地區土壤液化引致地層滑動事件之現地踏勘 (II)」，地下水位對山坡地深開挖討論「山坡地深開挖案例探討」及超抽地下水與地面水補注探討「臺北盆地地表沉陷與地面水補注效應」。

本期同時延續上期專輯張陸雄教授對於 2018.9.28 印尼 Palu-Donggala 地震 Petobo 地區土壤液化引致地層滑動事件之現地踏勘 Part II，說明有關災民訪談、地表特徵與劃分、以及結論等說明，掌握寶貴的災害防治經驗。

菱光顧問有限公司蕭仲光先生及魏培杰先生，針對山坡地深開挖案例探討，場址地層之不一致及不均勻性一向是地工界最強大的挑戰，尤其是山坡地。該案最困難的是地質及水文條件變化大，加上地形上高程變化，更使得基礎開挖有捉襟見肘的窘境，例如島式開挖工法，僅限於單側土堤開挖，相鄰側之穩定問題如何處理等。開挖過程中，亦步亦趨評估岩盤之特性及其穩定狀況，輔以監測系統之反應，順利達成岩層中無支撐深開挖之設計理念。

亞新工程公司黃南輝及莫若楫兩位地工前輩，針對臺北盆地地表沉陷與地面水補注效應提供良好的說明，透過北門地區的水位觀測資料以及沉陷紀錄進行回饋分析，以量化補注效應對地表沉陷的影響，並推估松山層各土層的壓密參數，以供未來研究之用。結果顯示：1.淡水河河水之補注對北門地區的地表沉陷有關鍵性的影響；2.砂性土層的壓密行為十分

顯著，超過一半的地表沉陷是因砂性土層的壓縮而引起。

本期專輯很榮幸邀請職業生涯專注於「人」與「水」工作的陳仲賢董事長撰寫贈言，從古老的水利工程故事發想，說明水在人類歷史中扮演的重要角色，道出人類文明發展與水利工程進步的關鍵，工程師面對自然時，心懷敬畏，態度謙卑，水山因為清朗，大地才得以永續。

最後感謝總編輯、編輯委員及各篇審查委員之細心審閱、逐字斧正；感謝基金會編輯群之精美排版、耐心校稿，感謝財團法人中興工程顧問社丁禕研究員於贈言的協助，本期方能順利付梓。另為推廣地工技術影音資料庫，感謝中興工程顧問股份有限公司賴建名經理及詹佩臻工程師協助之影音規劃、留存，編者在此表達由衷之謝忱。