

出國報告（出國類別：考察）

Seminar on Dredging
Technologies
疏浚技術

服務機關：臺灣港務股份有限公司基隆港務分公司

姓名職稱：陳森杰 助理工程師

派赴國家：比利時

出國期間：113年6月3日~113年6月14日

報告日期：113年8月21日

摘要

疏浚工程為河道與港灣基礎建設、船席與航道通行之間扮演至關重要的角色：為因應貨物進出口需求量提升以及追求運輸成本降低，大型船舶航運逐漸成為趨勢，而沿海造地計劃後的投資與建設可以促進區域經濟發展，更能創造國家之間共榮；在科技不斷進步之下，各式挖泥船隻配備及應用工法皆獲得突破性升級，在不同計劃需求下發揮淋漓盡致。

然而，隨著全球環境保護及職業安全意識抬頭，甚至面臨全球經濟與氣候變遷等諸多因素，人們開始致力於降低二氧化碳排放量、減少土壤以及河海汙染，並於安全環境下進行施工作業，同時試著找尋降低潛在成本的方法，疏浚工程在如此背景及限制條件下，需要於一項港灣基礎建設或航道船席維護計劃中重新評估不同契約階段應當如何管理及執行工作，其中包含審視契約內容訂定方法、採用何種機具設備與工法，以及各種影響環境之參數監測與檢驗作為參考，承攬廠商、相關顧問公司(監造單位)及主管機關等各單位皆需投入其中，方能從下而上建立共識與溝通管道，增加預期效益的同時減少各項成本，以期達成計劃目標。

APEC 是 1977 年比利時弗萊明政府(The Flemish Government)安特衛普-布魯日港(Port of Antwerp-Bruges)所成立的國際訓練中心，不同領域的專家為其提供相關港灣專業知識的課程或辦理研討會，讓來自各國有港灣工作相關背景的人才來進行學識傳授和經驗交流，建立一個網絡管道可以精進相關技術與工作技能，迄今(2024 年)已有超過 19,000 名參訓學員加入 APEC 這個大家庭，同時 APEC 也持續致力於尋找新方法及新技術來解決各種問題，並培養港灣工作背景且具潛力的人才在其領域發揮專業技能，如同本次 APEC 舉辦的疏浚技術研討會(Dredging Technologies)，即是準備各種專業疏浚技術與工作經驗，藉由一系列的課程給予各個參訓學員廣泛的認識和深度的啟發，讓學員們後續在執行疏浚相關工作時可以清楚了解業務辦理方向，以避免不必要的試誤，APEC 作為扮演教育與引導的角色可說是不遺餘力。

目次

一、目的.....	1
二、過程.....	2
2-1、安特衛普-布魯日港簡介.....	2
2-2、安特衛普港參訪.....	3
2-3、澤布呂赫港參訪.....	5
2-4、Jan De Nul Group.....	6
2-5、Deme Group.....	10
2-6、Royal IHC.....	13
2-7、契約探討.....	15
2-8、浚挖土方回收及再利用.....	18
2-9、AMORAS Project.....	19
三、心得與建議.....	20

本文

一、目的

疏浚工程為河道、港灣、船席與航道等需求位置創造有利於未來發展的環境，無論是填海造地進行基礎建設或航道船席定期清淤皆係自疏浚計劃做為開端，起造方如國家或當地政府、港灣管理機關或計劃業主應考量如何在一項疏浚計劃中為確認需求、設計與施工，乃至竣工後交付起造方之維護等工作做全方面的綜合規劃，同時在監造方及第三方單位協助監督與驗證之下，責成承造方確實依設計進行施工，每個角色在不同階段中發揮預期功能，才能從無到有完成一項疏浚計劃，相關概述將大致分為以下五個階段：

1. 需求確認階段：

確認需求並與潛在客戶進行合作，例如首要疏浚(Capital Dredging)係政府或相關機關進行沿海造地計劃增加基礎建設或投資興建，維護疏浚(Maintenance Dredging)則是定期進行航道或船席的清淤作業，兩者需求考量的重點將直接影響機關對未來疏浚計劃的執行。

2. 可行性評估、土壤調查與處置方式等綜合性規劃：

包括疏浚採用的工法與設備、預算來源、各項參數建模後之設計成果等詳細可行性評估，另外土壤地質調查與環境影響評估、土方收容處置方式以及各項使用執照許可申請，都是疏浚工作在履約前不可或缺的一環。

3. 契約型式與招標策略：

機關針對土壤地質調查及環境評估等結果建立計劃準則，再根據設計成果及需求訂定契約內容並準備各式招標文件，制訂適合的招標策略，吸引有履約能力之潛在承攬廠商或客戶投標。

4. 計劃執行階段：

承攬廠商須依設計成果及契約內容確實執行疏浚作業，監造單位或第三方單位須負責督導及驗證等相關工作，以輔助機關完成疏浚計劃。

5. 維護管理階段：

一項疏浚計劃竣工後將交付予指定機關或業主，後續由其進行定期維護疏浚工作，即以維持航道適航與船席停泊之清淤作業，依實地條件訂定相關維護管理計劃，亦可依歷史經驗適當調整契約執行內容。

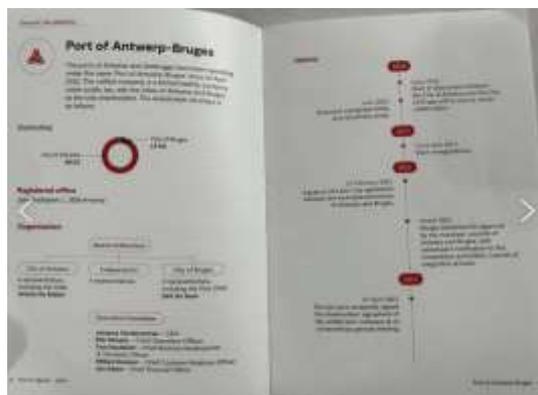
本次出國受訓目的即係考察並認識比利時執行疏浚計劃所採用的工法、使用機具與環境議題應對等內容，藉由案例介紹與實地參訪，以及各個講師精彩的講解，令人見識到不同領域專業的深度與廣度，且各國不同背景的工程人員分享其疏浚工作內容及經驗，亦使引發不同層面的思考，其中不少資訊和經驗皆可作為臺灣未來的疏浚計劃參考，也為後續疏浚工程相關履約管理提供更多的想法。

二、過程

2-1、安特衛普-布魯日港簡介

為了提升及穩健比利時港口在國際與國內帶來的經濟效益，安特衛普市與布魯日市自 2018 年開始討論整併安特衛普港(Port of Antwerp)與澤布呂赫港(Port of Zeebrugge)建立合作關係，並於 2022 年簽署協議後並以安特衛普-布魯日港 (Port of Antwerp-Bruges International, 簡稱 PoABI) 有限責任公司之型態正式共同營運。拜比利時得天獨厚的地理位置所賜，安特衛普-布魯日港可以提供快速且具持續性之交通運輸與歐洲境內各大城市進行貨物互聯；而放眼世界，則與美洲、非洲、中東與遠東國家等進行國際海運，以期成為第一個整合經濟、永續發展的全球性港口，並鞏固其國際物流作業鏈中的地位，在能源與數位轉型中發揮領導作用。

安特衛普港在貨櫃、雜貨及化工產品的處理與儲存方面具有優勢，布魯日市的現代港口澤布呂赫(Zeebrugge)則是滾裝運輸、觀光旅遊及液化天然氣轉運的主要港口，其中整併後安特衛普-布魯日港之海運貨物吞吐量(Throughput)於 2023 年高達約 2 億 7100 萬噸，且做為貨櫃、散雜貨、各大物流公司及汽車組裝輸出等重要的集散地，亦可配合完整的陸上鐵路運輸系統將貨物有效率地分別送往不同國家，促進歐洲內陸經濟平衡，另在發展能源產業的同時打造環保安全的管路系統運輸供給歐洲多國，安特衛普-布魯日港具多功能且整合完善的特性使其成為歐洲僅次於鹿特丹港不可或缺的重要交通樞紐。



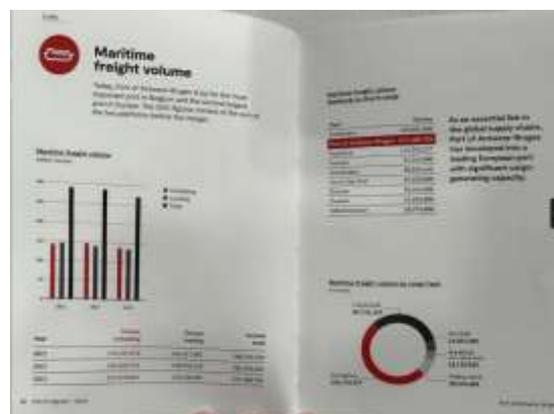
PoABI 發展沿革



PoABI 在世界影響力



PoABI 在歐洲影響力



PoABI 航運貨物量能

2-2、安特衛普港參訪

疏浚研討會首日開幕典禮於安特衛普市的港務大樓(Port House Antwerp)舉行，先由 PoABI 代表 Stefan Cassimon 及 Michel Lory 先生向各位來自不同國家背景的學員們致詞，並介紹安特衛普-布魯日港的發展沿革以及未來在國際之間扮演的角色，再由 Stefaan Ides 先生介紹疏浚的重要性、疏浚計畫種類及疏浚工作全生命週期等，並帶入疏浚案例說明(如巴拿馬運河、蘇伊士運河疏浚計畫等)，以概述性說明引入接下來兩周所將帶來的課程內容。

研討會首日室內課堂結束後，學員們隨領隊 Dirk Brentjens 先生坐上小巴士開始參觀安特衛普港區，行駛於港區道路上可以看到縱橫交錯的水路網絡，它們是港口位於斯海爾德河(Schelde)中經過歷年不斷疏通航道、擴建船渠(Berth)與河閘(Lock)建造而成，係提供更多船舶作業與停泊空間並連結安特衛普港區內外貨物運輸不可或缺的重要幹道，而腹地龐大的港區有不少航運公司、碼頭運營商、物流公司等各種業者營運，其中可以看到許多貨櫃車穿梭在港區道路與貨櫃場之間，橋式起重機亦如火如荼地進行裝卸作業，港區內還有架設鐵路以供鐵道貨運運作，使得陸上運輸有多種形式得以疏解龐大的運輸需求。參訪途中，可以看到許多坐落在港區內運轉的風力發電機，係比利時作為永續與潔淨能源產業領頭羊的證明；在部分區域有一些綠化土堤，經解說是浚挖作業的土料填方再利用所做，可用來防止海水倒灌至低窪處避免造成損失，由前兩例可見，安特衛普港在永續發展和環保再利用方面是相當進步而有遠見的，實為各國樹立典範。



PoABI 研討會開場簡介



PoABI 交通運輸連結



疏浚案例:蘇伊士運河



疏浚研討會內容簡介



Port House 俯瞰風景



斯海爾德河航道



安特衛普港-風力發電機



安特衛普港-港區貨櫃車



安特衛普港-船舶作業



安特衛普港-停靠船舶



領隊解說安特衛普港港區



Port House

2-3、澤布呂赫港參訪

疏浚研討會擇日來到布魯日市的澤布呂赫港參訪，由 Peter Ruys 先生引導各位學員至郵輪碼頭旁的港務大樓(ABC Building)，並播放布魯日市與澤布呂赫港發展沿革的短片讓學員們有基本的了解，內容描述從 12 世紀起，布魯日市因於茲溫海道(Zwin)運輸羊毛紡織業及布料與英格蘭交易穀物及酒類使得經濟迅速發展，13 世紀則開始與熱那亞進行香料交易，更為其促進了商務和財政技術的穩定，絕佳地理位置使布魯日市累積不少財富。然而，為布魯日帶來繁榮的茲溫海道開始淤積，在 16 世紀其經濟龍頭的地位逐漸被安特衛普取代，直到 20 世紀建立澤布呂赫港後並持續擴建至今，位於北海之濱的澤布呂赫港蛻變成為了歐洲重要的現代化港口。

認識布魯日市與澤布呂赫港的歷史興衰後，學員們隨領隊 Peter Ruys 先生先到港務大樓頂樓俯瞰澤布呂赫港區風景，映入眼簾的除了一望無際的港口海景之外，還看到許多停靠在碼頭上組裝妥善的車輛，等著下一艘汽車船的到港上船；另外看到不少遊艇整齊停泊在浮橋碼頭上的優雅景致，也聯想到澤布呂赫港還有觀光遊輪旅遊所帶來的龐大商機。隨後，大家坐上小巴士開始參觀港區，沿路可以看到不少船舶裝卸作業以及載滿車輛的鐵道運輸車經過，有時也會看到零星挖泥船正在進行疏浚作業；行駛到消波塊區附近的塔台眺望北海與成排豎立於岸邊的風力發電機，還可以看到幾隻海豹悠哉地在灘頭上曬太陽，而經過某海景別墅旁有一片沙灘地可以看到成排貨櫃屋，聽領隊說有部分沙灘區域在未來可能會填海造陸做為遊憩等多功能用途，由此可見比利時在疏浚及造地的豐富經驗，藉擴建土地達到營利的目的，同時發展環境永續再利用，已經達到循環平衡的狀態。



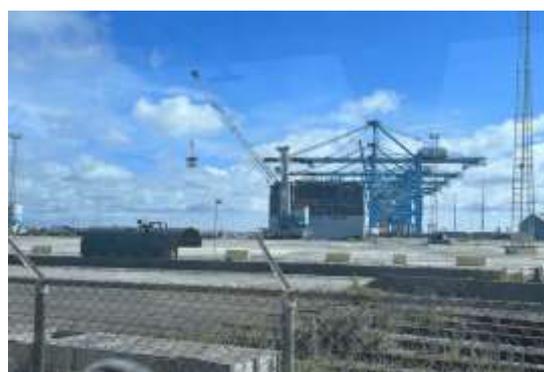
澤布呂赫港港務大樓



澤布呂赫港發展沿革簡介



澤布呂赫港風景-組裝汽車放置碼頭



澤布呂赫港-船舶作業

2-4、Jan De Nul Group

Jan De Nul Group(楊德諾公司)係比利時家族企業公司，提供比利時國內與國際間海上基礎設施的建設和維護相關的服務，其中疏浚工程的營業額是公司占了最大比重的項目，其擁有各種型式的挖泥船，可以支援重要的疏浚與填海造地執行計劃，如巴拿馬運河的擴建計劃、沙烏地阿拉伯的油田築地計劃等，其餘也包括土木工程與環境工程等範疇，而近年來投入離岸風電的市場，並且在歐洲風力能源計劃中佔有一席之地，隨著年度營收的增加，使 Jan De Nul Group 在其專業領域取得巨大的成功(參考自維基百科)。

疏浚課程班來到比利時 Aalst 的 Jan De Nul NV(member of Jan De Nul Group)，由講師 Steven Quintijn 先生向各位學員介紹耙吸式挖泥船 TSHD (Trailing Suction Hopper Dredger)，TSHD 適合於開放水域浚挖礫石、砂泥及淤泥，其操作方式係使用拖拉耙頭(Drag head)刨挖海床，並使用幫浦系統將被擾動的沉積物與泥漿水混合體透過管道輸送至船體內的載料斗(Hopper)，再將滿載的泥料運至指定填土區卸料或船吹排填(Rainbowing)，其自主性使其可獨立完成疏浚作業的各個階段:自走、自挖、自裝、自卸，作業期間亦可減少對航道的影響。

在一項計劃中，工程師為降低 TSHD 疏浚期間的各項成本並提升作業績效，其設計及搭載設備將考量以下條件：

1. TSHD 最大泥料載運量:作業前須進行土壤檢測確認土壤性質，並計算欲進行疏浚範圍現地的土方體積(Spoil)，而泥料在被填充載料斗時，使用溢流系統(Overflow)與反濁閥門(Anti turbidity valve)將載料斗中多餘的水排出，其可增加疏浚泥料的載運量，藉以減少往返填土區運送趟數並降低油耗支出。
2. 挖泥船航行速度:設計的船型或載料斗容量、承載泥料後的最大吃水深以及推進器動力瓦數，將影響往返作業時間，甚至可減少工期。
3. 泥料裝卸速度:泥料填裝速度取決於幫浦系統動力、拖拉耙頭的作業效率以及吸泥管的尺寸與數量等;卸載速度則取決於傾料方式與幫浦系統動力，如船底卸料至水底或使用噴嘴噴料至填土區，其中土壤種類亦會影響泥料裝卸速度。

在參觀 Jan De Nul NV 迎賓展示區，可以看到許多不同型式挖泥船的模型，其註明該等挖泥船的基本資訊，如耙吸式挖泥船 TSHD、絞吸式挖泥船(CSD, Cutter Suction Dredger)、反鏟式挖泥船(Backhoe Dredger)等，學員們可以藉由模型瞭解各項設備尺寸比例、配置位置以及使用功能。另外展示區中亦展示有臺灣海能離岸風場(Formosa 2)海底纜線模型，經查係臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司與 Jan De Nul 於 109 年簽訂「臺中港第 42、43 號碼頭後線、港產土地及碼頭設施租賃經營契約」，其承租碼頭及鄰近後線土地作為水下基礎設備裝卸、組裝及儲存用地，以進行海能風場(Formosa 2)水下基礎建置工作，後續為臺灣提供潔淨能源貢獻一份心力。(擷取自臺灣港務股份有限公司網站)

在室內課程結束後，講師帶領學員們來到挖泥船造船工廠參訪，廠房內放置許多製造挖泥船的各式材料與機具，工人們依客戶的需求進行材料的切割、試裝與焊接拼裝後，再將半成品送至更大的廠房將各構件組合成體。另外講師也向學員們展示挖泥船作業模擬器(Simulator)，讓學員們瞭解挖泥船實地作業情形，操作員可藉由調整不同土壤性質、挖泥船容量、裝卸速度、溢流系統等參數，甚至天氣變化與海象波浪影響等環境因子皆能納入模擬，用第一視角模擬疏浚工作時挖泥船作業情形，並可觀察不同機具設備在互相連動使用下的運作情形，據以評估挖泥船的操作性能與制定合適的作業策略，同時反饋具體有用的數據至設計端，來達到減少潛在成本的效益。

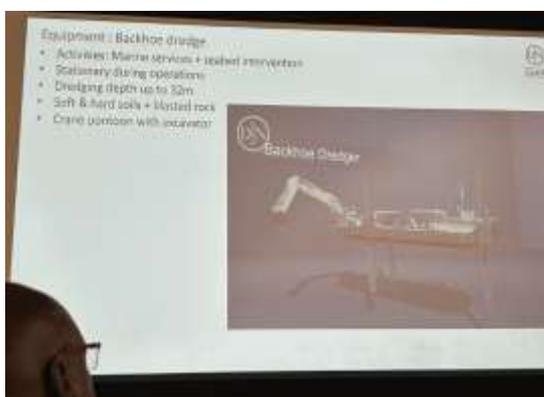
疏浚課程班擇日來到比利時 Zelzate 參訪 Jan De Nul 室外挖泥船構件儲置場，由講師向各位學員介紹現場各種型式挖泥船的構件，例如：不同尺寸的絞吸式挖泥船的絞盤(Cutter head)，部分絞盤寬度超過 3 米，旋轉刀盤上的刀片長達 50 公分，其尺寸之大故有「暴龍的牙齒」之名；有 TSHD 的拖拉耙頭(Drag head)其可作業的寬度約 6 公尺，據講師描述其尺寸還不算是該種類當中最大型的，另外也有看到大型的 TSHD 鋼製吸泥管，其在製作與維修時都需要做好通風措施才能讓人進入到鋼管內進行作業，講師表示這些放置在場區內的挖泥船構件只是船體的冰山一角，真正大型的挖泥船體可以說是一頭海上巨獸都不為過。



Jan De Nul 疏浚作業簡報介紹



疏浚作業案例：杜拜棕櫚島



反鏟式挖泥船(Backhoe Dredger)簡介



耙吸式挖泥船 TSHD 操作原理簡介



Subsea Rock Installation Vessel 模型



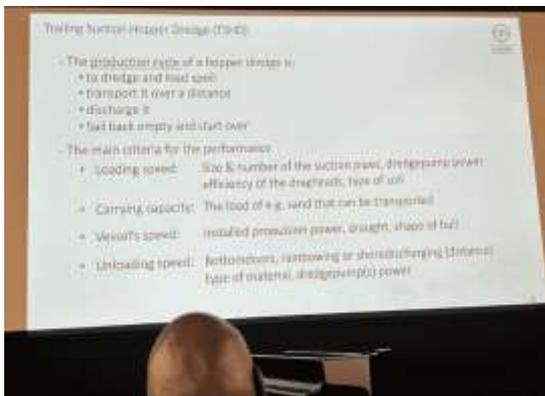
Heavy Lift Crane Vessel 模型



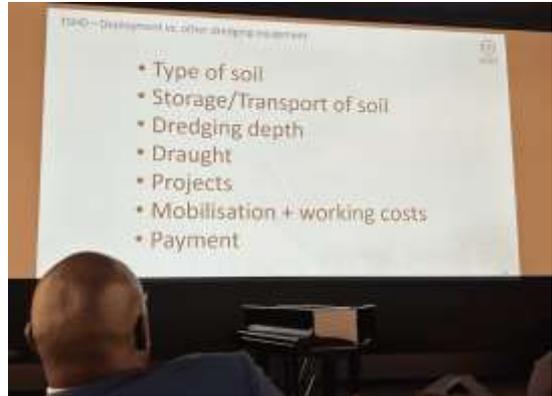
绞吸式挖泥船 CSD 模型



臺灣海能離岸風場(Formosa 2)海底纜線模型



TSHD 挖泥船操作效能準則簡介



TSHD 挖泥船部署考量因素簡介



Jan De Nul 室內廠房導覽(1)



Jan De Nul 室內廠房導覽(2)



Jan De Nul 挖泥船模擬器(1)



Jan De Nul 挖泥船模擬器(2)



Jan De Nul 挖泥船構件儲置場導覽



Jan De Nul 絞吸式挖泥船絞盤



Jan De Nul 耙吸式挖泥船拖拉耙頭



Jan De Nul TSHD 鋼製吸泥管



Jan De Nul 登上挖泥船 CSD 參觀(1)



Jan De Nul 登上挖泥船 CSD 參觀(2)

2-5、Deme Group

Deme Group 是發跡於比利時的國際化公司，其擁有近 150 年相關專業經驗，針對疏浚工程、海上基礎設施建設、環境工程以及近期離岸能源市場等領域在世界各國創造許多實績，而疏浚做為其中主要工作項目，為河海清淤與港灣造地工程等計劃扮演至關重要的角色，超過 100 艘次的挖泥船艦可為此提供服務，另 Deme Group 同時也有在做護岸、防波堤壩以及海灘養護工程，減少海水侵蝕與強浪襲擊，並提倡永續發展及生態友善做出貢獻，使在環境變遷與全球暖化趨勢下，努力打造適合人們生存居住的良好環境(參考自維基百科)。

疏浚課程班來到比利時 Zwijndrecht 的 Deme Group，由講師 Jean-Philippe 先生向各位學員介紹絞吸式挖泥船 CSD (Cutter Suction Dredger)，CSD 適合處理堅硬的岩盤及沉積物，其操作方式係將 CSD 駛至作業區，於船身兩側下錨固定並以繩索左右拉曳，且將主要鋤頭(Main Spud)嵌入在河床或海床內，以該主要鋤頭為中樞點(Pivot point)，從船身前端降下末端帶有絞盤(Cutter head)的梯架(Ladder)，然後像圓規畫弧般地將絞盤觸及河床或海床底部來切除岩盤及堅硬沉積物，同時使用離心泵將泥水混合物藉由吸泥管導流至岸上，亦可用挖土機和抓斗將沉積物撈起至受泥船(Barge)上運走。當完成一個範圍的疏浚工作後要移動船身時(兩側不起錨的情況下)，將鋤頭載具(Spud Carrier)上的輔助鋤頭(Auxiliary Spud)嵌入河床或海床後揚升主要鋤頭，可使整艘船身往前推進(其取決於鋤頭載具能移動的長度)，接著再將主要鋤頭重新嵌入並揚升輔助鋤頭，即可繼續進行疏浚作業，待鋤頭載具可移動距離處完成疏浚後，重新將船身兩側起錨後再行進一段距離，如此反覆操作，以達到該水域中疏浚的目標數量。

CSD 運作的設備包含絞盤(Cutter head)，其操作原理係藉由拉曳船身過程中，利用旋轉刀盤切除土壤或岩盤，根據不同土壤性質(如砂土、黏土等)裝設不同尺寸與數量的齒刀(Teeth)，進行上刨式(Overcutting)或下刨式(Undercutting)挖除沉積物直至預定之浚挖深度，利用離心泵(Centrifugal Pump)將刨除沉積物與水之混合物抽出，其運送方式依據使用需求有不同處置方式，如幫浦直接抽離至岸上填土(Pump to reclamation)、將泥料放置於受泥船或 TSHD 載運等。另外疏浚作業如遇岩盤時，絞盤運作須提供足夠的水平力打入岩盤內，利用齒刀破壞岩盤並將岩塊一層層地刨起，其傳動軸動力最大可能達到 12,000 千瓦、絞盤受力可達 50 噸重，齒刀亦會因為磨損導致需要頻繁更換或清理附著物。

講師帶領學員們參觀 DEME 挖泥船模型展示區，藉由講解可以清楚瞭解 CSD 各項設備尺寸比例、配置位置以及使用功能，亦有介紹模擬器設備(Simulator)，讓學員們瞭解 CSD 實地作業情形，操作員可自行調整不同土壤性質、天氣變化與波浪影響等環境參數，觀察不同機具設備在互相連動使用下的運作情形，之後講師讓各位學員親自駕駛 CSD 模擬器來模擬疏浚作業，而在講師協助下，學員們將船駛至作業範圍，根據儀錶板上顯示水下地形及深度，放下梯架開始進行岩盤刨除，其操作係需要在實際情況下面對不同條件來調整，故專業程度亦需要進行相關人才培訓。

DEME Group 在 2015 年至 2020 年參與新加坡 Tuas 進行 TTP1(Tuas Terminal Phase 1)築港工程，該計劃主要工作項目包含疏浚、造地、岩盤鑽炸、砂土供給、沉箱與碼頭築牆工程等，目標在 2030 年成為世界級貨櫃港，同時在未開發地段打造高度現代化之自動物流集中站，並活化鄰近城市發展，為長期產業發展進行大規模佈局。DEME Group 採用機械化挖泥船(CSD, TSHD 等)進行疏浚作業，其優點包含有較強的挖掘能力、低速刨除減少絞盤磨損、減少鬆軟土壤擾動並保持其機械性能、可於既有建設附近進行作業等，將泥料或因水下鑽炸岩盤後所產生的碎石塊用受泥船載運至岸上，或是破碎後再回填至填土區，部分範圍亦有進行海浪淘刷保護措施及土壤改良技術等，其中在使用機械化的抓斗式挖泥船(Mechanical Grab Dredger)輔助下大大增加作業效率(參考自 DEME 官方網站)。

London Gateway Port 係英國倫敦現代化且自動化深水貨櫃港口，在 Deme Group 與當地知名公司 Laing O' Rourke 共同合作下於泰晤士河(River Thames)進行龐大的疏浚造地計劃，該計劃除了使用各式挖泥船進行疏浚及造地之外，亦為防止河川長期沖刷而使用浚挖土料回填建立突堤(Jetty)、護岸(Bund construction)等，並加設連續壁鞏固基礎避免地下水滲入，且護坡工程還需要分不同階段進行拆除與建造。此計劃在施工前需通盤考量將成本減至最低，而在此疏浚課程中，Deme 工程師向各位學員分享執行計劃內容的同時，也提出一些他們所經歷過的問題，讓學員們分組討論應如何解決較為恰當，例如：何種性質的土壤及挖泥船型式應如何決定護坡的填土順序、採用何種挖泥船及填土方式較能減少油耗或增加作業時間效益等，問題沒有正確答案，係讓學員們思考在現場遇到問題時該如何有效解決，而學員們的回覆亦可提供 Deme 工程師參考，也許能作為後續執行計劃可採用的備案，想法上互相交流促進計劃順利推展。



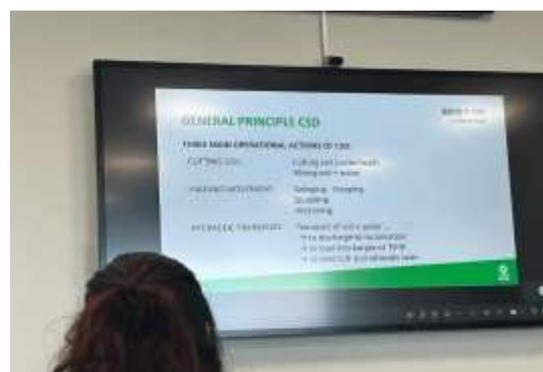
DEME 疏浚作業簡報介紹(1)



DEME 疏浚作業簡報介紹(2)



DEME 絞盤式挖泥船 CSD 介紹



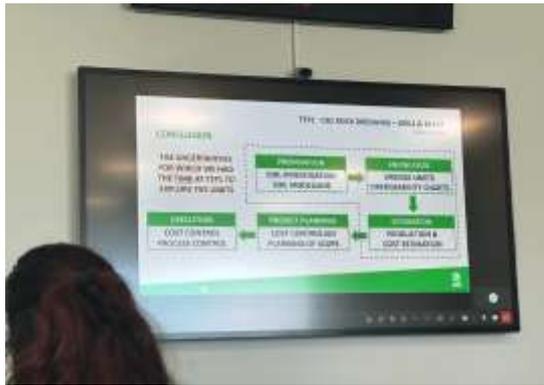
絞盤式挖泥船 CSD 操作原理簡介(1)



絞盤式挖泥船 CSD 操作原理簡介(2)



絞盤式挖泥船 CSD 絞盤簡介



DEME 疏浚案例探討:TTP1 Project



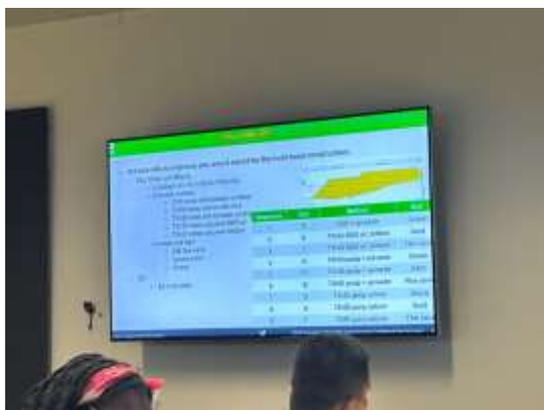
絞吸式挖泥船 CSD 模型



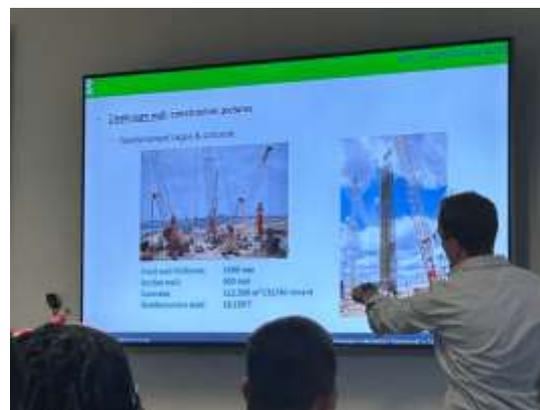
DEME CSD 絞盤裝置藝術



DEME 挖泥船模擬器



London Gateway Port 疏浚案例討論



London Gateway Port 疏浚案例分享

2-6、Royal IHC

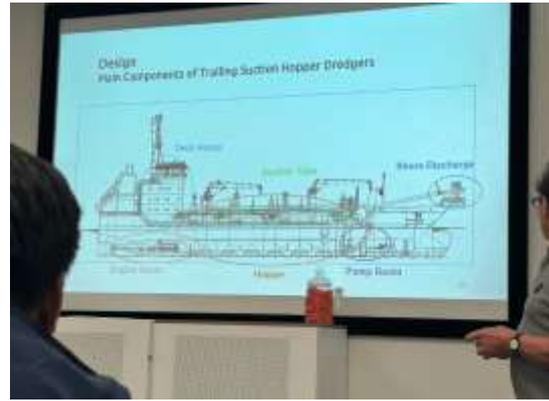
由於荷蘭國土有大半部分低於海平面，從 17 世紀即開始進行填海造陸，其技術自此漸漸精進成長，而 Royal IHC 做為荷蘭國內的企業公司，向國際有相關需求的國家提供疏浚工程、挖泥船設計與租借、採礦工程以及離岸風電能源等領域的服務，其供應商的領頭羊角色對世界有舉足輕重的影響力，並為不同的計劃和客戶需求量身訂作服務內容，而在面臨全球經濟與環境劇烈變遷下，Royal IHC 與各組織合作持續發展新技術，在海事工程與相關產業當中找到一條聰明且安全、有效率且永續的方法來創造價值並進入變化多端的市場。(參考自 Royal IHC 官方網站)

疏浚課程班來到荷蘭 Kinderdijk 的 Royal IHC，由講師 Jelle Groenhof 先生向各位學員更加詳細地介紹耙吸式挖泥船 TSHD (Trailing Suction Hopper Dredger) 的基礎操作原理，並針對如何設計一艘符合客戶需求的 TSHD 裝載設備規格與量體進行全面探討，如挖泥船體需考量船身與機具設備呆載重，活載重須考量壓艙物、油量、貨物儲放、用水與工作人員等重量，以利推算出設計船身長度的吃水深等數據，其可直接影響到載料斗與泥料裝填量能，而總載重間接決定油耗與駛船速度，需考量時間成本與機具運轉效率等，所有設計條件其實都是息息相關的，皆需要因應現地情況與客戶需求以尋找最佳化方案為目標。經由講師說明後即請學員們進行分組，並發予一份情境題目，給予邊界條件後讓各位學員帶入顧問公司視角發揮所學來設計一艘 TSHD，印象深刻的是我們這組在研究載重和吃水深設計方面即有一些意見分歧，每個人考慮的觀點面向與潛在因素將引出不同的設計方法，而我從討論過程中深刻了解到，即使是在同樣的外在條件下亦會產生不同的想法，並因此衍生出不同的設計結果，其實正是這門課所要傳達的意涵，設計本身沒有所謂正確答案，唯有滿足客戶需求及降低各項成本才是考驗一個挖泥船設計工程師是否具備專業能力。

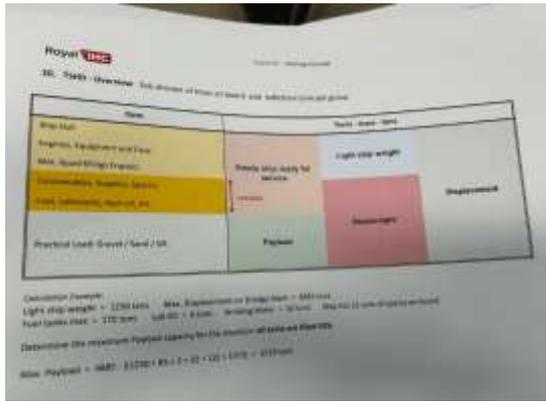
結束室內課程後，講師帶領學員們參觀 Royal IHC 的挖泥船造船廠區參訪，在廠區內大部分造船過程是禁止拍攝的，僅有在領導員同意下方能進行拍攝，參訪途中我們看到了許多工作人員正在製作各種機具設備，如 CSD 絞盤構件拆裝、管路系統的大型輸泥管焊接等；另廠區內有部分工區係使用全自動化設備取代高危險、單一重複作業，其不但能降低人力與時間成本、還可以使生產出的挖泥船構件保持穩定品質，其歸功於人工智慧的開發與引進。隨後學員們跟著領導員來到室外並魚貫登上現役 TSHD 參觀，並體驗挖泥船工作人員作業時爬上爬下的實況，在登船後隨即看到超大容量的載料斗(Hopper)，目視尺寸至少有 20 米長、10 米寬、10 米深，底部尚有部分沉澱淤泥，一旁則有溢流系統與大型輸泥管連接，而船身兩側的拖拉耙頭(Drag head)也能近距離地觀察其細部構造，經由領導員現場生動的講解拖拉耙頭上的齒片係如何在海床上運作將沉澱物刨刮，並由幫浦系統將沉積物與泥漿水送至船艙內的載料斗，讓我們更清楚瞭解 TSHD 的實際作業情形，再次驗證 TSHD 外貌構造及功能確實如課程中所學習到的如出一轍。



Royal IHC Services



耙吸式挖泥船 TSHD 設計考量



耙吸式挖泥船 TSHD 載重考量



耙吸式挖泥船 TSHD 簡介



室內廠房耙吸式挖泥船 TSHD 製造



耙吸式挖泥船 TSHD 拖拉耙頭 Drag Head



耙吸式挖泥船 TSHD 載料斗



耙吸式挖泥船 TSHD 船上參觀

2-7、契約探討

完成一項工作計劃需要制定全面性的作業方針，一般臺灣現行常見的工程標案會先進行探討可行性方案至綜合性規劃，以評估各項提案是否能在有限資源下完成並檢討各種界面問題，有時還需要進行相關研究調查與取得許可證明，接著進行基本設計與細部設計後才進入施工階段，在計劃竣工後則有營運及長期維護階段，係導入計劃全生命週期的概念。

疏浚作業亦是如此，需要周延的綜合性規劃，從作業地點環境的評估、水深地形測量、土壤檢測與相關許可取得至挖泥船型的選用以及人力機具調度，都考驗機關或業主對契約內容的制定以及欲施作數量的成本控管要有一定程度的了解，更多與契約相關之詳細說明可參考 *MANAGING RISKS:HOW SELECT THE APPROPRIATE DREDGING CONTRACT* by Charles Wilsoncroft，而針對疏浚作業各工作項目合適的計價方式在本次研討會課堂中亦有說明道：

1. 單價計算法(Unit price):即實做實算，依實際施作或供應之項目及數量結算，以契約中所列履約標的項目及單價，依完成履約實際供應之項目及數量給付。該計價方法常見於疏浚作業，因疏浚過程中現地常有像淤泥或沉積物等履約標的項目的工作範圍及內容較不明確之情形，係依實際浚挖或回填數量乘以特定的單價來做計價，其亦可在契約總價額度內做各項目數量之調整。
2. 按月、按日或按時計酬法:係按履約時間計算廠商的酬金，適用於工作範圍及內容無法明確界定而致總費用難以正確估計的計價方式，在疏浚作業中像是水力注射疏浚(Water Injection Dredging)或犁式疏浚(Plough Dredging)等可採用此方法計價，細分則可採按月、日或小時計費。
3. 服務成本加公費法(Cost plus): 適用於計畫性質複雜，服務費用不易確實預估或履約成果不確定之服務案件，目前現行法規於前項服務費用得包含直接費用、公費(應為定額，不得按直接薪資及管理費之金額依一定比率增加，且全部公費不得超過直接薪資及管理費用合計金額之百分之三十)及營業稅，其中直接費用包含直接薪資、管理費用與其他直接費用，服務成本與公費加計後就是廠商的報酬，類似的概念在疏浚作業中間接工程費則包含品質管理費、土壤檢測試驗費、職業安全衛生費用、包商利潤、保險費與各項雜支等費用。
4. 船舶租賃契約(Charter contract):在疏浚作業中依需求明確選用欲承租的挖泥船型與量體大小或雇用船員所立之契約。

在浚挖範圍與深度方面，契約須明訂在每次浚挖前後都需要進行指定全區域水深地形測量，以作為施工前底泥淤積量之依據，而浚挖量需要在契約明確訂定容許超挖水深(通常為 30-50cm)，若超挖超過容許差之水深則應無條件回填，其所需費用及工期不另給付，過度超挖亦建議納入計價懲罰機制;在人力動員成本方面，需全面評估疏浚計畫先天條件上所需人力、挖泥船等各機具設備的動員量能，有時一項龐大的計畫可能牽涉多種契約，且可能工期長達數年之久，會有許多潛在的成本出現在各個履約階段，因此業主與承攬廠商之間的橫向溝通與互相合作將影響計劃是否能如期如質完成。

契約應明訂在執行首要疏浚及維護疏浚作業的前置程序，係為利後續主契約可順利執行避免未知因素影響履約內容，故建議事先進行調查與檢測參考如下：

1. 環境評估及取得相關作業許可：在執行疏浚作業前需進行環境評估現地是否對生態造成影響，在河道或航道中水質檢測與水底環境調查尤為重要，因為疏浚活動可能導致長期累積於底部的污染物重新擴散和漂浮，將損害水質造成漁業和養殖業莫大的衝擊，所以包括欲執行浚挖、傾料及回填等區域，需要遵照相關法規及取得政府相關單位的施工核可，有時須與相關產業代表溝通取得共識後才能進行作業。
2. 土壤檢測與地質調查：土壤檢測係判斷浚挖區為何種性質的土壤或地質且是否有重金屬污染物，需要將樣本送入實驗室進行檢測，尤其在首要疏浚做浚挖與回填造地極為重要，其牽涉到永續發展與環境保護的議題，而維護疏浚因水底土壤沉積情形變化莫測亦需要定期進行土壤檢測，且檢測成果得出土壤性質及分布範圍後，選用合適的挖泥船種類及搭載設備，做為可明確訂定契約預算內容有顯著的效果。
3. 水深地形測量：浚填量體管控有賴於浚前、浚後收方的水深測量，其必要性可作為浚挖前後數量計價之依據，水深測量主要儀器採用單音束音鼓或多音束音鼓並搭配驗潮站(測海床高程)，同時以 RTK 或 DGPS 定位系統(測位置)來進行，且浚挖後所進行的水深地形測量亦可做為下一年度維護疏浚或新標案的參考依據，另外浚挖過程中應以 GPS 定位船機位置，配合測深儀器隨時檢核浚挖深度以即時概估水位資料，做為現場作業調整與修正之依據，可避免浚挖範圍錯誤、浚深不足或超挖等情形發生。
4. 水下障礙物排除：在進行水深地形測量前先行水下攝影，利用船機輔助定位及水下攝影確認障礙物所在位置，並依障礙物性質選擇適當之清除方式，避免影響浚填作業工進，另外像是歐洲部分水域會有二次大戰所留下的未爆彈 (Unexploded ordnance)，在疏浚作業時可能暗藏巨大風險，需要有預先做水下檢測，並由專業人員引導與先進技術排除水下未爆彈，避免造成人員傷亡和挖泥船設備毀損。

在履約階段中，除了承攬廠商需要依照原既定設計進行疏浚作業之外，顧問公司(或監造單位)與機關亦須各司其職進行履約管理，從計畫研擬、綜合性規劃、設計階段、施工階段及維護階段，都應有對應的階段性工作要執行，整理如下表：

履約階段	顧問公司 (設計暨監造單位)	機關
採購與招標工作	1. 準備招標文件並訂定技術規範。 2. 招標方式評估與協助尋找潛在承攬廠商。 3. 確認契約內容與技術需求符合機關規定。	1. 監督制定契約的流程是否正確。 2. 確保契約內容符合計畫目標。

疏浚施工階段	<ol style="list-style-type: none"> 1. 監督承攬廠商疏浚作業是否符合計畫目標和契約規定。 2. 解決履約過程所遇問題並提供協助予機關。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 全面性履約管理。 2. 確保履約內容可如期如質完成以及預算籌措順利。 3. 負責較高層級問題處置。
土方處理與控管	<ol style="list-style-type: none"> 1. 提供土方管理、運輸及後續處置方法之顧問諮詢。 2. 探討最有利於環境並符合規範之土方處置方式。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 監督土方管控計畫是否符合契約與法規規定。 2. 選擇最有利於計畫目標與環境之土方處置方式。
疏浚作業竣工確認	<ol style="list-style-type: none"> 1. 監督竣工後工區是否清理與機具是否收回。 2. 竣工後確認是否符合計畫內容。 	
維護與監測	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成疏浚作業後執行相關調查與評估。 2. 給予維護疏浚的建議與未來持續監測計畫。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 監督完成疏浚作業後所執行相關的調查與評估。 2. 確保計畫長期符合相關規定與保存成功經驗。
文件與報告	<ol style="list-style-type: none"> 1. 準備疏浚作業計畫報告與相關文件資料。 2. 確認相關文件資料是否符合契約與法規規定。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 監督疏浚作業計畫報告與相關文件資料是否完整。 2. 備查相關文件資料。



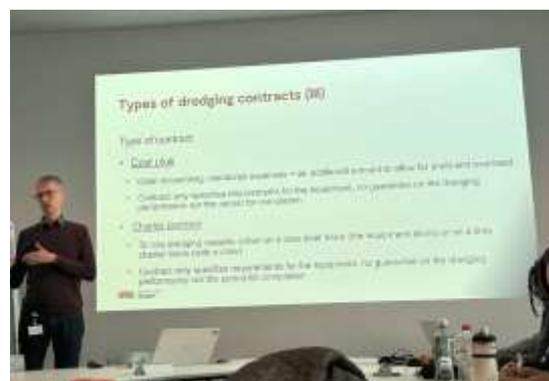
契約-疏浚作業全生命週期



契約-疏浚作業計價方式(1)



契約-疏浚作業計價方式(2)



契約-疏浚作業計價方式(3)

2-9、AMORAS Project

AMORAS Project 全名為 Antwerp Mechanical Dewatering, Recycling and Application of Silt，是比利時安特衛普港為了能永久且永續性地處理及儲存維護疏浚所浚挖之淤泥所開發特有系統化處置方法的計畫，係為因應大型船舶需要足夠水深航行而日益增加的浚挖土方量，以往做法是將該浚挖土方卸料至碼頭上或滿足超挖填土需求，而隨著永續發展及環保意識抬頭，Flanders 政府於是著手建造機械式淤泥排水裝置，利用可再用的濾餅將溼土或溼沉積物進行排水，其預設排水能力至少有 60%，且產生約達 500,000 噸乾土方之處置量與儲存量，所有的後處理程序都在特定區域完成，其中包含將水下沉積物浚挖起至岸上的作業區、砂土過篩作業區、管線輸送區、排水裝置區及濾餅儲存區，其中排水裝置須先進行沉澱以減少污染物後再行濾砂程序，然後用擠壓泥水混合物至濾餅分離水與沉積物並反覆操作，而過濾水可以淨化後進行物化與生物分解再利用，此計畫係滿足空間有效利用與永續發展的成功標竿，可使未來疏浚作業不再因浚挖土方造成環境負擔與資源浪費，實為可靠且符合經濟效益的政策方針。(參考自 Spokeswoman of Flemish Minister Hilde Crevits from Press information)



AMORAS Project- 現場參觀



AMORAS Project-廢棄物處理參訪

三、心得與建議

今年有幸被總公司提名遠赴比利時安特衛普(Antwerpen,Belgium)參訓 APEC 籌辦的疏浚技術研討會(Dredging Technologies)，由於在行前未曾接辦過疏浚相關業務，而且亦從未獨自一人出國，當即將面對不同文化洗禮與全英文專業知識授課情況下是既興奮又焦慮，而在提送英文簡歷與自我推薦信至 APEC 官方網站並繳費完成課程報名時，即刻多了一份不真實的感覺，於是本人在出國受訓前開始瀏覽疏浚技術相關資料，包含閱覽現行契約內容、國內外挖泥船機具設備以及部分案例實際作業執行情形等資訊，預習過程中發現疏浚作業涵括了許多不同層面的考量，例如需求導向與選用挖泥船型設備的技術層面、環境保護與永續發展的環保層面以及各項成本控制的預算層面等，船席或航道挖泥作業僅是疏浚作業中的一小部分，背後還有許多可探討的議題，藉由本次機會可認識先進國家在執行疏浚作業的技術與經驗，著實令人期待。

在疏浚技術研討會上，認識了許多來自各國負責疏浚業務的學員，例如負責國內河道疏浚的專案工程師、承辦疏浚業務採購的工程師、環境部門經理與顧問，還有許多擁有相關疏浚專業背景的工程師與主管一同參訓，雖然該研討會不限定專業與否皆能參加，但頓時間覺得自己毫無疏浚相關背景在課堂中顯得格格不入，幸好研討會中的每個講師都會由淺入深地講授課程專業內容，學員們會在課中將自身遇到的問題與講師們討論，且學員之間也不吝在課後分享許多疏浚工作的經驗，讓我對疏浚技術有了最基本的認識之外，也認識到來自不同國家實際在執行疏浚作業的現況，不知不覺從中收穫良多，可以將其優點納入日後承辦疏浚工作採購的參考。

在為期兩周的研討會中參訪了不少地方，領隊帶著各位學員們乘坐巴士巡訪安特衛普和澤布呂赫港區，可以看到許多風力發電機運轉還有船舶裝卸作業，而藉由領隊的解說讓我們認識各種貨物運輸方式、不同物料處置場等基礎設施功能以及港區迄今為止的轉變；而參訪不同挖泥船公司在 (Jan De I Nul , DEME Group, Royal IHC)其造船廠區認識各種型式的挖泥船設備及觀摩現場作業場所，也有登上挖泥船參觀內部構造和船上機具設備，甚至是親手操作公司開發的挖泥船模擬裝置，更能貼近操作員實際駕駛挖泥船的作業情形，經過每位專業講師精闢的解說，讓我們更能了解到疏浚作業所歷經的起承轉合，吸收相關專業知識的同時，亦為比利時先進的疏浚技術及經驗感到欽佩。