

青年工程師海外工程經驗分享

許瑞慈^{1,*}、張家豪¹、李偉榮¹、鄒政憲¹
林同棧工程顧問有限公司¹

摘要

本文以青年工程師角度分享海外工程設計經驗與工程特性並概述海外工程市場趨勢，期以自身海外工程設計案例經驗提供有意前往海外發展之青年工程師參考。就現今臺灣青年工程師潛在市場而言，開發中國家為因應大規模建設需求為最佳機會，雖然2020~2021年COVID-19疫情因素導致全球市場建設計畫縮減及基礎建設腳步放緩，然而待疫情好轉後海外市場必將快速復甦，相關設計人才需求強烈。望有意踏入海外市場之工程師能透過本文對海外市場有初步認識及準備方向，邁開自身第一步投入海外工程設計。

關鍵字：海外工程、設計案例、特性與趨勢。

Experience Sharing of Young Engineers in the Overseas Project

J. T. Hsu^{1,*}, C. H. Chang¹, W. J. Li¹, and P. Chou¹

¹T.Y.Lin Taiwan Consulting Engineers Inc.

Abstract

Based on our own overseas design experience and authors' views, this article shares overseas engineering design experience and summarizes the overseas project features and tendencies for young engineers who want to involve in overseas projects. For civil engineering, the potential markets are in developing countries because those countries are suffering from inadequate infrastructures. Therefore, it is a great opportunity for engineers to participate in mega overseas projects. However, the COVID-19 pandemic has caused severe economic impact for most countries since 2020. The development of global construction and the relevant industries have been slowed down or even stopped. The pandemic has recently subsided; subsequently, the markets must be recovered rapidly to compensate for the loss of development during the pandemic. Before the market recovery, engineers should improve their abilities and prepare themselves for follow-up opportunities. For young engineers who want to grasp this great opportunity, they can start to learn and be familiar with relevant markets through this article.

Key Words : overseas projects, design experience, features and tendencies.

一、前言

作者從事國外設計工作主要以海外捷運工程設計為主，參與工程包含有委瑞瑞拉捷運、巴拿馬2號捷運線、馬來西亞捷運2號線SSP Line及印尼雅加達輕軌Phase1等海外設計案。執行國際大型建設工作過程中，往往會聚集各國不同專業設計團隊共同執行，例如：團隊中包括印尼(地下結構)、馬來西亞(建築)、中南美洲國家(上構)等宛如聯合國，與各專業工

程師合作完成海外各地設計，期間常因對於當地人文、風俗及工程習慣與法規等不了解，溝通中經常發生種種討論與磨合，過程中辛苦但其所收穫成果豐碩。

海外工程是與國際接軌之快速途徑，也吸引充滿抱負之青年工程師嚮往，但若對於海外市場空有理想但卻對其海外工作細節甚多不解，如此對於初涉海外市場人員將產生極大融合障礙與落差。以下將依據自身海外設計經驗分享國內外業界之差異。

*通訊作者(Corresponding author) : rthsu@tylin.com.tw

二、海外工程設計特性與趨勢

2.1 海外工程特性

海外工程樣貌因時空因地區有所不同，有時會與國內工程相像，但有時卻很不一樣。海外工程依據各個國家文化、政策、法規及當地的營建環境文化等息息相關，就目前經驗大致區分三方面說明：

1. 出資單位：對於開發中的國家，公共工程建設興建資金來源為國家政府經費預算、民間機構投資新建並為營運(BOT)及政府開發協助(ODA)。ODA由某個國家或世界各開發銀行(亞洲銀行、世界銀行等)貸款給各國興建國家基本建設。例如中國大陸「一帶一路」或日本國際協力機構(JICA)貸款；目前JICA進行中計畫，包含越南胡志明地鐵一號、菲律賓馬尼拉地鐵與南北通勤鐵道、印尼雅加達地鐵南北線二期等。中國大陸則有印尼雅萬高鐵、馬來西亞東岸鐵道、菲律賓蘇比克灣到克拉克鐵路工程等。上述兩個國家貸款執行項目在東南亞開發國家中經常可見，同時也將各自國家中顧問公司、營造廠再布局至各自援貸工程中。

海外工程亦有臺灣民間企業身影，此種通常為臺灣企業至海外設立工廠或分公司。例如最近鴻海或臺積電到美國設廠，然而相關設計還是委託臺灣設計團隊執行。

2. 工程發包特性：臺灣工程大部分採傳統發包(設計跟施工分開發包)，而國外大型工程發包較常採統包方式，對於設計而言，兩種發包方式業主對設計態度截然不同。業主若為政府單位，業主希望設計整體走向以安全為主要考量，費用並非第一要素；反之業主為統包商，業主期待設計合乎規範要求同時也要求經濟之設計方案，這對於設計者如何運用自身專業及設計經驗提出滿足業主之設計方案視為一項大考驗。

3. 施工設備與地質環境差異：每個國家皆具有當地特色傳統文化，然非指一般民風文化而特指營建業之地區性文化(人工、物料及機具)。舉例來說，在現今臺灣最缺乏者為技術工，故在人工費用上相對較高，但對於印尼而言人

工費用卻是占比較低。東南亞或中南美洲等開發國家因為市場規模龐大，相對吸引施工機械原廠於當地設立投資，如Bauer, Keller等，以打樁機為例，國內主要以全套管輔以錘式抓斗為主，馬來西亞針對石灰岩地質主要採用套筒鑽掘機；再以臺灣擋土支撐系統而言，內支撐系統常採用H型鋼，但對於英系國家(如新加坡馬來西亞)較常採用的為鋼圓管。每個國家具有不同特性，每個工程也會依不同的組合而產生不同的情況，透過不同的交流跟事前準備工作才能掌握各國工程特性。

2.2 疫情影響下之海外工程市場

2020~2021年COVID-19疫情肆虐，全球建設計畫及基礎建設腳步放緩，新立建設專案幾乎停擺，而在建基礎建設也因工作人員因疫情禁止群聚及大規模染疫而缺工等，興建進度趨緩並難以掌握。在疫情期間主要最大困難是取得調查作業成果(鑽探、測量、環境調查等)，各國因疫情情況採取封鎖措施，讓現場調查作業延宕或停擺，進而導致後續設計作業延宕。許多大型工程顧問公司因應疫情關係人員分流，甚至100%居家辦公，為配合非常時期工作型態轉變，辦公設備軟硬體也必須改變靈活運用，如採視訊會議，所有文件交換也透過雲端交換傳輸，紙本電子化等。

就作者疫情期間工作情形，在規劃中之工程因疫情關係全面暫停，正在執行工程案也緩慢執行，整體期程延宕半年以上，且須待各國疫情情況好轉解除封鎖才有機會恢復。但對於顧問公司而言，工作型態的轉變並未對執行產生任何問題，因這種非接觸之工作型態為海外工程的特色之一。

三、海外設計挑戰

3.1 設計規範

設計規範是設計的一切依據，國際規範主要大致分成美國、英國、日本及歐洲等體系，其又因工程類別(建築、橋梁、邊坡或水庫等)有各自規範，而當地也會因為各地性質差異而產生當地規範，此外如海事工程設計亦有不同規範須依

循。海外工程市場大型基礎建設工程或國際標案所採用之主要國際規範須搭配當地規範共同參照，而民間或小型工程主要依循當地規範。

一般而言，美國規範通常為各國規範參考引用，如臺灣規範中亦常見美國規範身影。美國建築工程規範主要使用ACI、ASCE、AISC；橋梁工程規範主要使用AASHTO、Caltrain。美國規範為作者喜歡使用的規範，具有較完整的解說及相關研究報告，使得在解讀規範條文時有較多參考依據。值得注意的是，AASHTO從2004年開始推動新設計觀念-載重因素法(LRFD)法並已被確立使用至今，現已發行至第九版(2020)，而目前LRFD法已在各大型建設案被廣泛採用。

英國規範BS Code對於我國土木從業人員較為陌生，近來英國BS Code規範也逐漸被歐洲EuroCode規範取代，目前在東南亞國家(如馬來西亞)還在使用，例如於地工擋土設計可參照CIRIA C580 Embedded Retaining Walls。但隨著英國脫離歐盟政策，BS Code未來也會再更新版本。

日本規範也為大家熟悉之規範之一，臺灣大地工程設計常引用日本經驗及相關規範條文，如道路橋方書、建築基礎構造設計指針、國鐵建造物設計標準解說、日本隧道工程標準規範及解說等規範。日本學會在2004年開始推動以極限設計法為基礎並加入性能設計(Performance Design)觀念的新規範，也持續更新相關規範內容。

歐洲規範Eurocodes過去在臺灣較少應用，此規範引入可靠度設計概念之新趨勢，使用機率理論，將設計問題中變異性及風險概念轉換成量化數值以作系統運算分析。目前Eurocode 7: Geotechnical Design規範文件已發佈執行，會員國各自進行評估並擬定適合該國之特定條款。Eurocode為了推廣新設計觀念，亦推出相關案例設計計算書籍以供參考。

上述所提到之設計概念細節介紹可參閱地工技術期刊之第109期(主題：性能設計方法)及第160期(主題：性能設計、不確定性、以及各國規範)，如潘與董(2006)、張等人(2006)與邱(2019)。雖然不同國家使用不同設計概念，但國際規範之共同趨勢為將不確定因子做量化分析，並以非線性分析方式進行設計。

3.2 各區域地質條件

各國家因地層形成環境不同而有不同地質條件，且各地土壤岩石特性皆異，也因而各自發展背景發展符合當地特性的經驗公式。如馬來西亞石灰岩性質，岩石性質承载力高，但溶洞特性造成在施工前需要先探測位置並將灌漿補洞，若未掌握好在開挖可能會發生沉陷問題。以本公司海外工程為例，有關鑽探的作業、即時報告及地工報告(GIR)概由當地公司負責，此乃因為當地專業人士對於該國地質掌握度高，較能清楚研判性質。於設計階段也必須收集充分相關地質資訊，了解各地地質特性，避免後續設計中工法選擇錯誤。

3.3 設計分析工具

以臺灣為例，開挖分析軟體最常使用“TORSO”跟“RIDO”。但在臺灣以外這兩者卻非主流使用軟體，例如以東南亞國家而言主要以“PLAXIS”軟體進行分析。業主對於包商使用不熟悉軟體之分析結果，常要求其提供軟體相關驗證文件或採用不同軟體驗證案例比較分析以供驗證，造成在設計審查時間拉長，後期作者為避免上述問題，大多會先詢問當地主要接受軟體。在臺灣，PLAXIS主要用來處理比較複雜的設計案，對於軟體熟悉程度需要時間培養，將分析結果轉換為設計用數據之後端處理需自行撰寫小工具，也考驗設計者的功力。

3.4 語言及時差

東南亞跟南美洲的國家在設計方面有非常明顯的不同，南美洲設計案主要使用美國規範，嚴謹度跟專業性要求標準較高。設計相關工作最大的自我挑戰為語言跟時差。與臺灣不同，Fast Track 統包工程為加速施工，採設計與施工並行，使設計及審查修正程序相當緊湊，也是海外設計工作上的一大挑戰。

根據時差超過八小時以上之海外設計經驗，時差是最大的優勢同時也是劣勢。尤其在施工中服務階段，每天上班收到統包商意見，下午修正完畢提送給統包商；若進行視訊會議，時間上需要多方配合，常須利用晚上或清晨等時段，這也會讓工作與家庭時間無法明顯的區分。很多人認為執行海外工作，其時差不

超過4小時為較合適。

在使用語言上，英語為國際語言，一般溝通會使用英語，但設計文件可能為雙語(英語及當地國家官方語言)。事實上海外工作的成員可能來自世界各國，英語可能並非母語，最重要是敢講，利用簡單詞彙表達出意思。有時候對方可能英語也不是很好，利用一些設計圖或一些輔助圖片可以幫助溝通。在臺灣做海外工作設計，email往返及視訊會議為主要聯絡及溝通的方式。在作者初入職場，寫信詢問工程問題永遠是短短一行疑問句；後來慢慢的了解到，讓對方了解問題的背後原因，或利用圖片輔助說明問題且採條列式方式，能讓對方更加理解你想表達的意思。若碰到英語以外的語言，可能只能使用翻譯軟體或者其他科技。但最重要的是自我不要懼怕，透過科技的輔助，便可讓溝通無障礙。

四、海外設計案例經驗分享

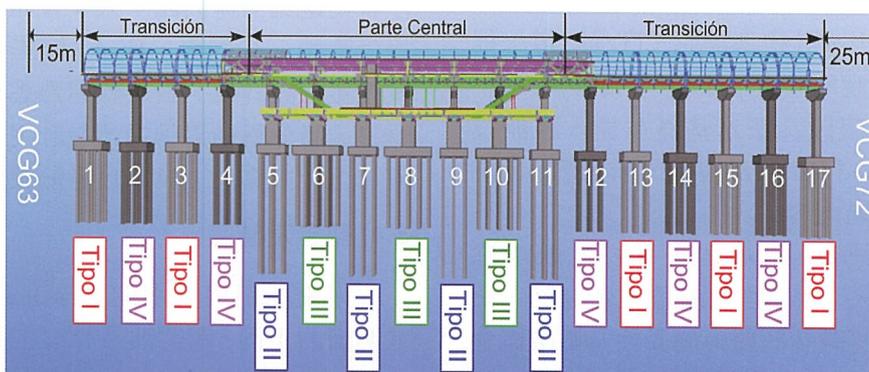
作者就業後很幸運參與眾多海外工作，以下就目前為止參與大型且具有特色之海外工

程設計過程及成果加以分享。

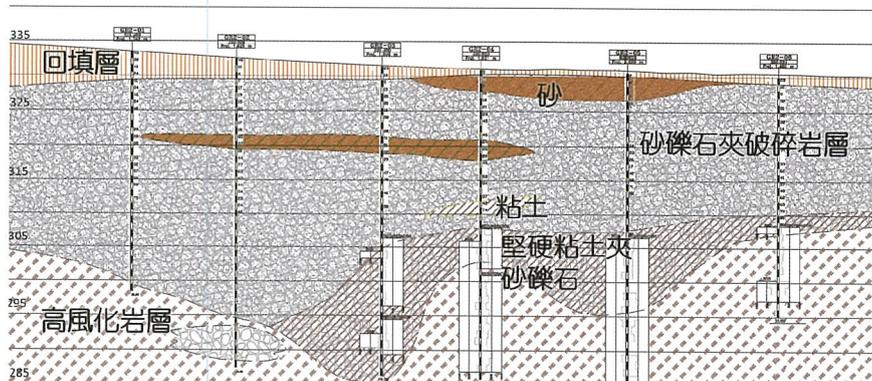
4.1 Sistema Caracas Guarenas-Guaitre (SCGG),委內瑞拉,2013~2015

委內瑞拉5號捷運線(SCGG)採高架設計，包含6個高架車站，總長度30公里，高架橋跨度為30~40m，所有高架橋和車站結構皆採用單墩支撐。並採抗震隔離設計，以降低地震力對橋墩的衝擊。車站上層結構系統採用鋼結構以減少結構自重；車站共計有17個橋墩，墩柱間距為15m，車站由3個部分組成：2個轉換段(墩號1~4及12~17)及1個中間段(墩號5~11)，配置圖參閱圖一。在本公司接手設計前，統包商已完成車站偶數號橋墩的基礎及柱的建造。

圖二為GR2車站地質剖面圖，沿線地層大致分成三層，土層、堅硬黏土層及岩層；其中，土層厚度約為0~20m；堅硬黏土層為不連續性的分佈在各區域，其厚度約為0~6m；岩層可分成破碎岩層及完整岩層，破碎岩層厚度約為5~20m。整體土層SPT-N值介於9~80，土層的自立性良好。



圖一 車站結構配置圖



圖二 CARACAS GR2車站地質剖面圖

車站依據AASHTO LRFD,2012設計，然因前任設計者設計橋墩容量不足以支撐整個上部結構，因此，上層結構設計考慮各橋墩之勁度不一致，讓新橋墩承受較多力量。在車站的轉換段，奇數號橋墩基礎大小與樁數跟既有橋墩一樣，基樁長度增加至21~22m，但基樁底部維持在同一個岩層；在車站中間段既有橋墩基礎，維持同樣基樁長度但增加樁數(總樁數為15~19隻)；中間段的新橋墩考慮既有的橋墩基礎尺寸已經加大，橋墩之間空間已不足，故維持9支樁數但基樁長度增至22~35 m，相關基礎配置參閱圖一。基礎設計最特別處為既有橋墩基礎進行擴大基礎補強，涉及新舊介面的連結設計。

該案為2013年開始執行，雖然本案因委內瑞拉內部政治問題，導致本案最後沒有完成通車，但其下部基礎及車站鋼構製造已完成，只差在車站鋼構的組裝，圖三及圖四為現場施工照片。由於本公司在2013年已導入BIM軟體，本案也使用TEKLA發展設計圖說。

4.2 KVMRT SSP Line,馬來西亞, 2014~ 2015

KVMRT-SSP線(2號線)是吉隆坡三條主要捷運線(SBK線、SSP線及環狀線)之一。SSP線由Sungai Buloh (與SBK線相接)到Putrajaya，總長46.40公里，沿線包含31個車站，主要由以下3個部分組成：1.北部高架段 2.地下段 3.南部高架段。本公司主要負責4座特殊跨度橋、明挖隧道段及Jalan Ipoh車站設計。

沿線地層大致分成三層：砂土、粉土及石灰岩；其中，石灰岩在臺灣較少碰到，常伴隨有溶洞及浮石地質特徵，兩者對於樁基承載皆有負面影響，在施工前皆要將溶洞灌漿且避免樁底座落浮石上，避免出現天坑災害之鄰損。

本計畫依據BS-5400及馬來西亞捷運局設計規範設計。馬來西亞規範與臺灣不同，無既有的分析計算工具可使用，需而外花費時間研讀規範、分析設計流程及撰寫計算工具。

圖五為明挖隧道段地下結構物斷面示意圖，以擋土切削排樁(secant bored pile)做為



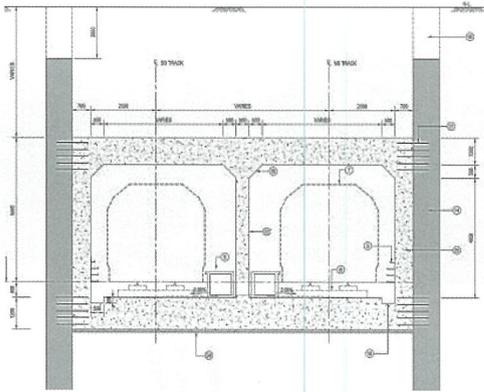
圖三 車站施工照片



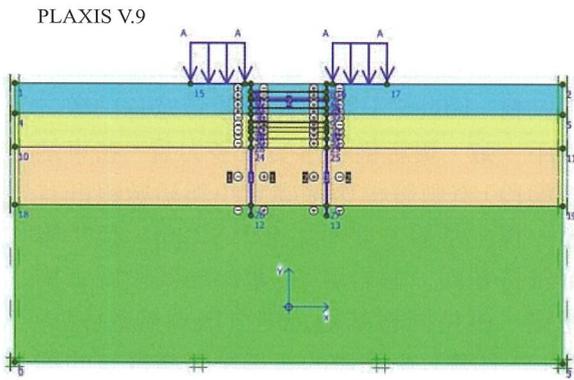
圖四 Caracas 基樁現場照片

擋土系統，亦做為地下結構物的結構物永久牆(單牆系統)，切削樁徑為1m，樁跟樁之間重疊20cm，每支切削樁長25~45m在臺灣，本案使用擋土切削排樁，這在臺灣是很少見的開挖擋土系統，但在馬來西亞亦為較常用之擋土系統之一。切削排樁分公母樁，母樁先做再做公樁，但在做公樁時機點很重要，等太久切削不下去，反之則擔心施工沒有達到設計要求，加上機具較少，故不常在臺灣使用。

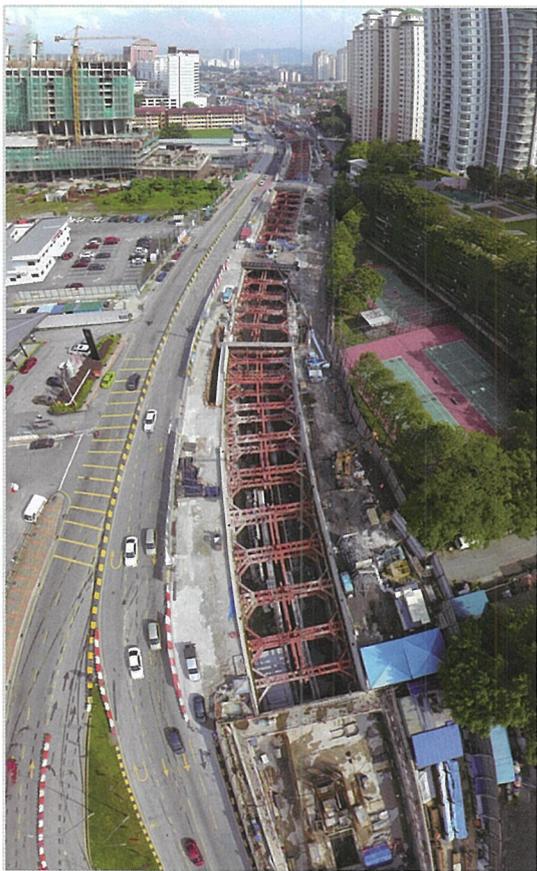
考量安全性及施工品質，捷運系統的地下結構物設計大多採用雙牆系統；本案則使用單牆系統，開挖分析採用PLAXIS(分析斷面圖如圖六



圖五 地下結構物斷面示意圖



圖六 地下結構分析斷面圖



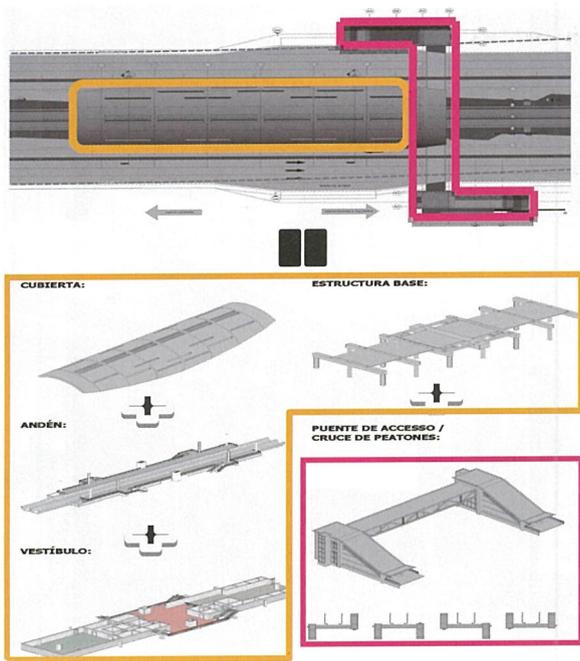
圖七 KVMRT SSP Line明挖隧道段施工照片

所示), 結構物永久牆分析採用SAP 2000, 依據兩個分析結果的包絡線設計樁鋼筋。在無既有案例可作為依循加上規範的不同情況下, 歷經無數次的技術討論及撰寫後處理小工具, 完成本案設計(圖七)。

4.3 Panama Metro Line2 station, 巴拿馬, 2016~2018

巴拿馬捷運2號線由奧德布雷希特(Odebrecht SA)及西班牙營建集團(FCC

Constuccion SA)共同承攬。捷運2號線全長共21公里, 沿線設置16個車站。工作範圍為沿線車站設計(16個車站)。本案在競標階段, 為減少工程建造/設計時程, 將車站採模組化設計(圖八), 可分成車站主結構體和人行橋兩部份; 一車站共計有7個橋墩, 墩柱間距為15 m, 車站主結構體的下層結構可分為三類: 雙柱墩型(大口徑單樁)、三柱墩型(大口徑單樁)及特殊型(群樁), 而後設計也依循模組化理念而發展。



圖八 車站模組化示意圖

圖九為捷運2號線某一車站地質剖面圖，沿線地層主要沉積岩為主，土層厚度約3~10m，SPT-N值約5~100之間；少數區域會出現火成岩，其性質算非常堅硬。

車站設計依據AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2014。車站基礎型式以大口徑單樁基礎為主，樁徑2.25 m，樁長10~35 m；在特殊型式車站基礎採用群樁基礎，樁徑1.8 m，樁長14~20m。基樁設計方法採用性能設計法，土壤彈簧採用非線性P-Y曲線，樁基礎分析程式採L-PILE及GROUP。AASHTO

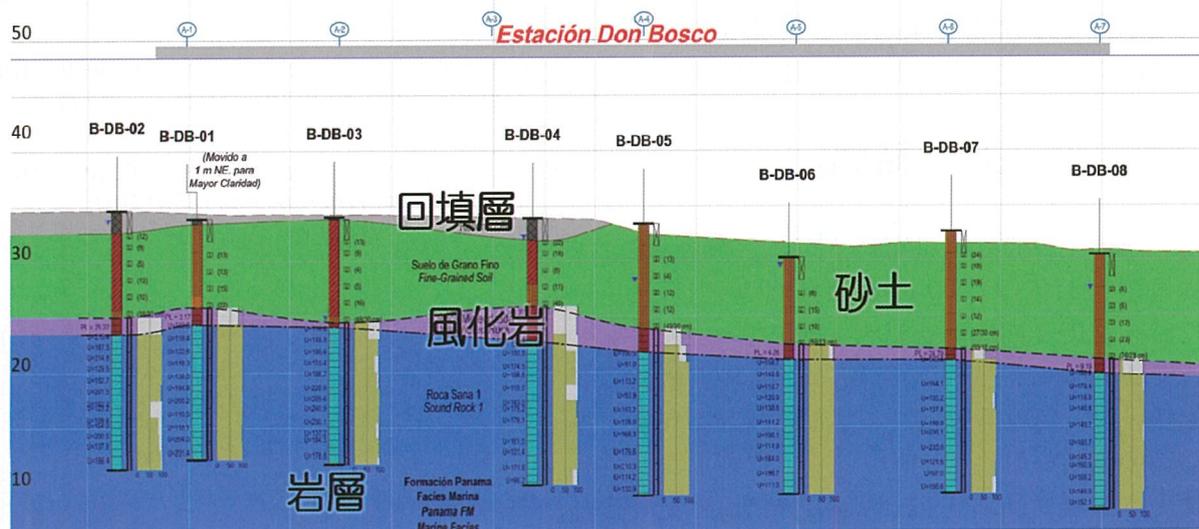
LRFD從橋梁上部結構到下構基礎明定統一的載重組合，使工程師易於理解。目前國內對於性能設計法目前停留在推廣階段，未正式公佈實施，但未來為不可避免之趨勢。

由於本案為統包工程案，設計與施工時程併行，每個車站基礎設計時間約15~30天，在短時間內完成設計圖說，對於工程師亦為挑戰。模組化設計及施工為本案主要特點，在基樁的鋼筋設計及施作也利用模組及鋼筋加工廠自動化機具組立好再運至現場，進而達到縮短施工工期之目的，圖十為基樁施工照片。因此，所有基樁主要鋼筋排放位置已固定，相對的設計的鋼筋比上下限也被限制住，對於設計者亦為挑戰之一。

4.4 海外設計感想

青年工程師夢想要踏入工程設計海外市場，事實上是很辛苦的一份工作，沒有對於工作或設計的熱忱，在設計經驗甚少、高強度工作壓力下很難撐過辛苦的時刻，然而相對得到成果或過程經驗卻也是豐碩的。近幾年因市場競爭等因素，海外工程設計案越來越難得標，不要期望自己每一個設計工作都是海外的工程，保持正常心態面對。

海外設計工作很辛苦，同時也因執行案子有機會到各國國家走訪，體驗當地文化及實際走訪當地，開闊自我的眼界與世界觀，圖十一為出差開會及參訪機構之照片。



圖九 Don Bosco車站地質剖面示意圖



圖十 基樁施工照片

對於作者而言，國際規範的閱讀、理解與表達，以及分析結果的判斷等技術工作對於青年工程師為一大挑戰。早期作者與外籍同事或歐美留學回的工程師同仁交流時，在討論規範的內容，對方能提出自己的見解，而自己沒有任何想法；而後期反而時常與同仁共同討論各自的見解，也常搜尋相關文章輔助自己對規範的理解。分析過程只有經驗慢慢累積而成，透過同儕、同事或學者討論過程有效幫助自我專業成長。

在開發中國家的建設工程，大致將簡易的設計由當地顧問公司，複雜設計由國際的顧問公司承攬，未來設計案門檻也會慢慢提升難度，同時也考驗自身的設計技術能力。

五、結語

海外工程設計案是可遇不可求之機會，尤其是在2021年COVID-19疫情嚴峻情況下，工程設計費用及期程影響巨大。近年來，中國及印度工程設計能力開始在國際工程案上嶄露頭角，為未來競爭對手之一。海外設計工作型態大多為短暫且高強度的工作，工程師自身要對土木工程有高熱忱、對當地文化生活習慣等之良好適應力及包容性。



圖十一 作者出差開會照片

對工程設計而言，於業主國/國際規範熟悉理解、小程式撰寫及BIM知識掌握及專業分析軟體熟悉度為基本功，對於學校基礎教育外還須培養自我學習能力，透過自我的學習及練習操作讓自我成長，對於海外設計有莫大的幫助。

參考文獻

- 邱俊翔，「日本鐵路基礎構造物設計規範簡介與橋梁群樁基礎耐震性能分析示例」，*土工技術*，第160期，第5-14頁。
- 秦中天、陳皆儒、孫介文、王劍虹 (2004)，「大地工程規範的新趨勢 - 可靠度設計」，2004岩盤工程研討會論文集，淡水。
- 張德文、鄭世豪、楊恆偉 (2006)，「AASHTO樁基礎載重和阻抗因子設計(LRFD)新近發展」，*土工技術*，第109期，第51-62頁。
- 潘以文、董家鈞 (2006)，「歐洲地工新規範EUROCODE 7簡介」，*土工技術*，第109期，第39-50頁。