

出國報告（出國類別：其他）

## 參加 2019 年國際隧道工程學會研討會

服務機關：交通部高速公路局

姓名職稱：蔡宗描 科長

派赴國家/地區：義大利/那不勒斯

出國期間：108 年 5 月 2 日至 5 月 11 日

報告日期：108 年 6 月 28 日



## 摘 要

國際隧道協會(International Tunnelling and Underground Space Association, ITA)每年均舉辦世界隧道研討會(World Tunnel Congress, WTC)，今年選在義大利那不勒斯舉行該協會第 45 屆大會及研討會。本次大會主題為「工程及創新與考古學、建築學及藝術學融合之隧道及地下城市」(Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art)。由於全世界各地均面臨高度都市化問題，地下空間開發利用之工程技術不斷創新，但地下工程也常遭遇到古蹟、建築保存等問題，本次研討會當地主辦單位義大利隧道協會與義大利政府正在推動義大利與奧地利之間的義奧鐵路隧道(The Brenner Base Tunnel)、那不勒斯到巴里高速鐵路(The Naples-Bari High Speed Railway line)等隧道工程，尤其是羅馬 C 線地鐵(Line C of the Subway System in Rome)便面臨在羅馬古都地下施工的難題，義大利隧道協會也以本次大會主題來彰顯義大利隧道硬體技術及古蹟、建築保存軟體思維的工程精進作為。

本次研討會參與人數、參展廠商、戶外大型展示規模均創下歷年記錄，為義大利那不勒斯當地帶來可觀的觀光收益，本文將分別就本次研討會簡要介紹參加目的、相關行程、專題演講、研討會論文、廠商展覽等相關內容，並提出個人心得感想，供有興趣讀者參考。



# 目 次

一、前言 .....	1
二、目的 .....	2
三、行程 .....	2
四、研討會紀要 .....	3
五、心得及建議事項 .....	22

## 一、前言

國際隧道協會(International Tunnelling and Underground Space Association, ITA)每年舉辦的世界隧道研討會(World Tunnel Congress)為國際隧道工程界一年一度之盛會，本次研討會於 2019 年 5 月 3 日至 9 日在義大利那不勒斯(Naples)舉行，超過 100 個國家、2500 人以上及 200 家廠商參與，參與人數、參展廠商、戶外大型展示規模均創下歷年記錄，為義大利那不勒斯當地帶來可觀的觀光收益。

臺灣方面由中華民國隧道協會組成交流團，包括夏理事長明勝、臺灣大學土木系黃燦輝名譽教授、王教授泰典、公路總局蘇花公路改善工程處邵處長厚潔、中興工程顧問公司李經理怡德、蕭組長富元博士、福清營造公司江特助國權、林副總崇賢、高協理松煒、威建工程公司許副總世儒、中興測量公司阮副總英彥、聯合大地工程顧問公司李經理佳翰博士及龔技師建倫等 13 位組成，可謂產、官、學、研代表，加計筆者，已知臺灣方面共 14 位參加，惟並未有任何廠商參與本次展覽。



圖 1-1、臺灣出席研討會人員

## 二、目的

全世界各地均面臨高度都市化問題，地下空間開發利用一直為工程界努力的領域，以國道工程為例，國道 1 號中山高僅起點之中興大業隧道雙向合計約 1 公里，國道 3 號雙向共 30 座隧道合計約 27 公里，國道 5 號雙向 10 座隧道長度達 40 公里，其中雪山隧道長達 12.9 公里(單向)，為目前國內公路最長隧道，隧道工程愈顯重要。

為利與國際隧道工程界直接交流，俾引進新理念、新技術，創新及更新優良設施於未來規劃設計之隧道工程及地下工程中，了解世界之工程概況，並進而提昇國內技術，對新建工程計畫有相當助益，高公局爰編列預算參與本研討會。



圖 2-1、大會主場地-那不勒斯會展中心

## 三、行程

本次研討於 2019 年 5 月 3 日至 9 日舉行，其中 5 月 3 日至 5 日為國際隧道及地下空間協會(ITA-AITES)之訓練課程(Training courses)及技術會議，有關本次

大會之全程議程表詳如表 1。依「行政院及所屬機關軍公教人員因公出國搭乘本國籍航空班機作業規定」，在本國籍航空公司班機到達地點，應一律搭乘本國籍航空公司班機，配合本國籍中華航空公司之桃園國際機場直飛義大利羅馬達文西機場每周二、四、日各 1 架次；義大利羅馬達文西機場直飛桃園國際機場每周一、三、五各 1 架次，本人僅參加 5 月 6 日至 8 日研討會部分，主要包含開幕式、Muir Wood 得獎論文、主題演講、論文研討、電子海報、廠商展示等(Opening Ceremony、Muir Wood Lecture、Keynote Lectures、Open Sessions、Technical Sessions、Poster Sessions、Exhibition)。

PROGRAM OVERVIEW											
MAY 2019	FRIDAY 3 <sup>rd</sup>	SATURDAY 4 <sup>th</sup>	SUNDAY 5 <sup>th</sup>	MONDAY 6 <sup>th</sup>		TUESDAY 7 <sup>th</sup>		WEDNESDAY 8 <sup>th</sup>			THURSDAY 9 <sup>th</sup>
	ITACET Training Courses	ITACET Training Courses	ITA General Assembly	Opening Ceremony		Open Session 1 ITA WG & Committees Reports		Technical Sessions	Special AAA Off-site Event		
MORNING	Coffee Break	Coffee Break	Coffee Break	Coffee Break		Coffee Break		Coffee Break	Coffee Break		
	ITACET Training Courses	ITACET Training Courses	ITA General Assembly	Opening Ceremony & Keynote Lecture		Open Session 2 Panel Discussion on Tunnels & related link between past and future		Technical Sessions	Special AAA Off-site Event		
	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch		Lunch		Lunch	Lunch		
	ITACET Training Courses	ITACET Training Courses	ITA WG Meetings	Technical Sessions	Special AAA Off-site Event	ITA WG Meetings	Technical Sessions	Special AAA Off-site Event	ITA General Assembly	Technical Sessions	Special AAA Off-site Event
	Coffee Break										
AFTERNOON	ITACET Training Courses	ITACET Training Courses	ITA WG Meetings	Technical Sessions	Special AAA Off-site Event	ITA WG Meetings	Technical Sessions	Special AAA Off-site Event	ITA General Assembly	Technical Sessions	Special AAA Off-site Event
	Coffee Break										
	ITACET Training Courses	ITACET Training Courses	ITA WG Meetings	Technical Sessions	Special AAA Off-site Event	ITA WG Meetings	Technical Sessions	Special AAA Off-site Event	ITA General Assembly	Technical Sessions	Special AAA Off-site Event
	Coffee Break										
	Closing Ceremony Magna of Oltremare										
EVENING	ITA President's Reception Magna of Oltremare San Carlo Theatre	ITA President's Reception Magna of Oltremare San Carlo Theatre	ITA President's Reception Magna of Oltremare San Carlo Theatre	WTC2019 Special Event ITA Tech Dinner San Carlo Theatre		WTC 2022 Candidates Dinner Polytechnic Cinema By invitation only		WTC 2022 Candidates Dinner Polytechnic Cinema By invitation only			Carla Dinner Polytechnic Cinema

表 3-1 研討會議程表

## 四、研討會紀要

本次大會主題為「工程及創新與考古學、建築學及藝術學融合之隧道及地下城市」(Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art)，大會從世界各地投稿之上千篇論文摘要中經過嚴謹之審查共挑選 670 篇文章全文，其中 170 篇文章被選為口頭報告(Oral Presentations)，另 500 篇文章則安排海報展示 (Poster Presentations)，研討會論文則歸納為：地下施工的考古學、建築學及藝術學(Archaeology, Architecture and Art in Underground Construction)、地下施工的環境永續(Environment Sustainability in Underground Construction)、計畫執行的地質及岩石知識(Geological and Geotechnical Knowledge and Requirements for Project Implementation)、地下施工的地質改良(Ground Improvement in Underground Constructions)、地下工程、材料及設備的創新



(Innovation in Underground Engineering, Materials and Equipment)、長深隧道(Long and Deep Tunnels)、公眾溝通與認知(Public Communication and Awareness)、風險管理與契約及財務等面向(Risk Management, Contracts and Financial Aspects)、地下施工的安全性(Safety in Underground Construction)、彈性城市的地下空間使用策略(Strategic Use of Underground Space for Resilient Cities)、都市隧道(Urban Tunnels)等面向。以下將就 Muir Wood 得獎論文、主題演講、研討會及廠商展示等參與之研討會過程，摘要說明。

### **(一)Muir Wood 得獎論文**

本屆 Muir Wood Lecture 得主為 Martin Herrenknecht。Martin Herrenknecht 先生於 1942 年出生於德國，為 Herrenknecht 公司之創辦人兼首席，其公司所設計之 TBM 與潛盾機使用於全球各大國家。本次得獎論文主題為機械開挖隧道之創新(Innovations in Mechanized Tunnelling)。

Herrenknecht 榮譽博士之演講從 1825 年盾構機之發明引言，接著說明 1970~1985 年地下工程機械化施工之需求、1985~2000 年隧道工程蓬勃發展、2000~2020 年地下工程與隧道工程、2020 年以後隧道機械化施工之未來發展等。

其中有關 TBM 與潛盾機之未來發展，將朝以下多面向發展：(1)尺寸愈來愈大，配合單一隧道多功能需求與配置(2~3 層)；(2)自動化施工技術，包含轉速、扭力、千斤頂推力、環片抓舉等；(3)施工資訊數位化，操作人員於地表上、手機上便可獲得各項數據；(4)切削刀數據與開挖面影像，於切削刀安裝監測儀器並於切削盤安裝微型攝影機；(5)各項施工數據 BIM 管理，利用 BIM 軟體整合，如圖 4-2~6。



圖 4-1 Muir Wood 得獎論文演講

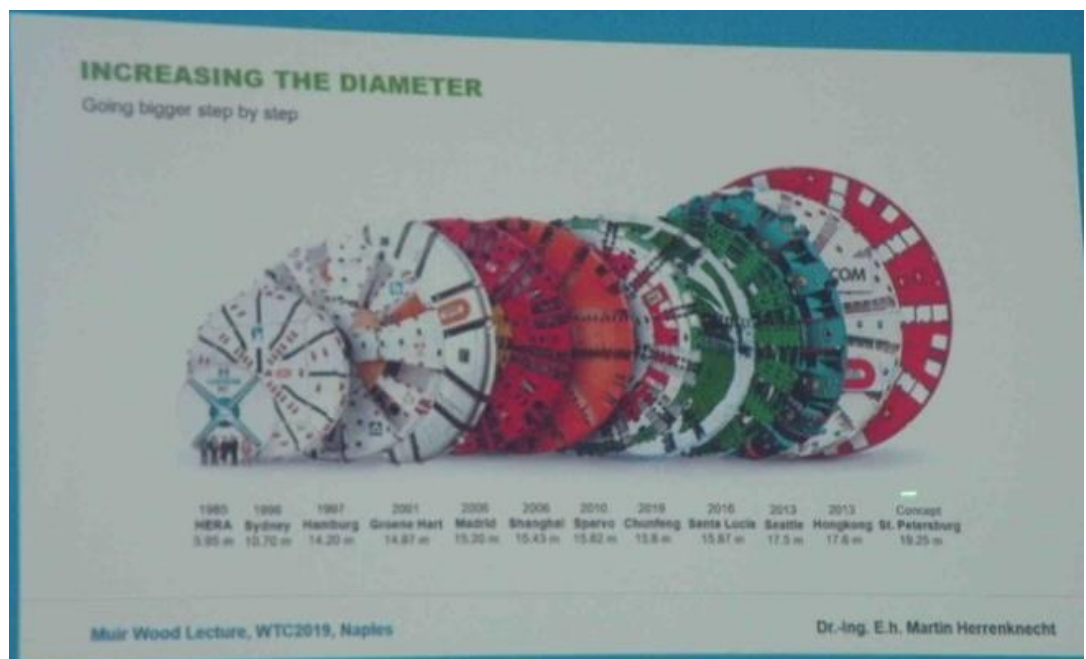


圖 4-2 開挖隧道之機械斷面演進

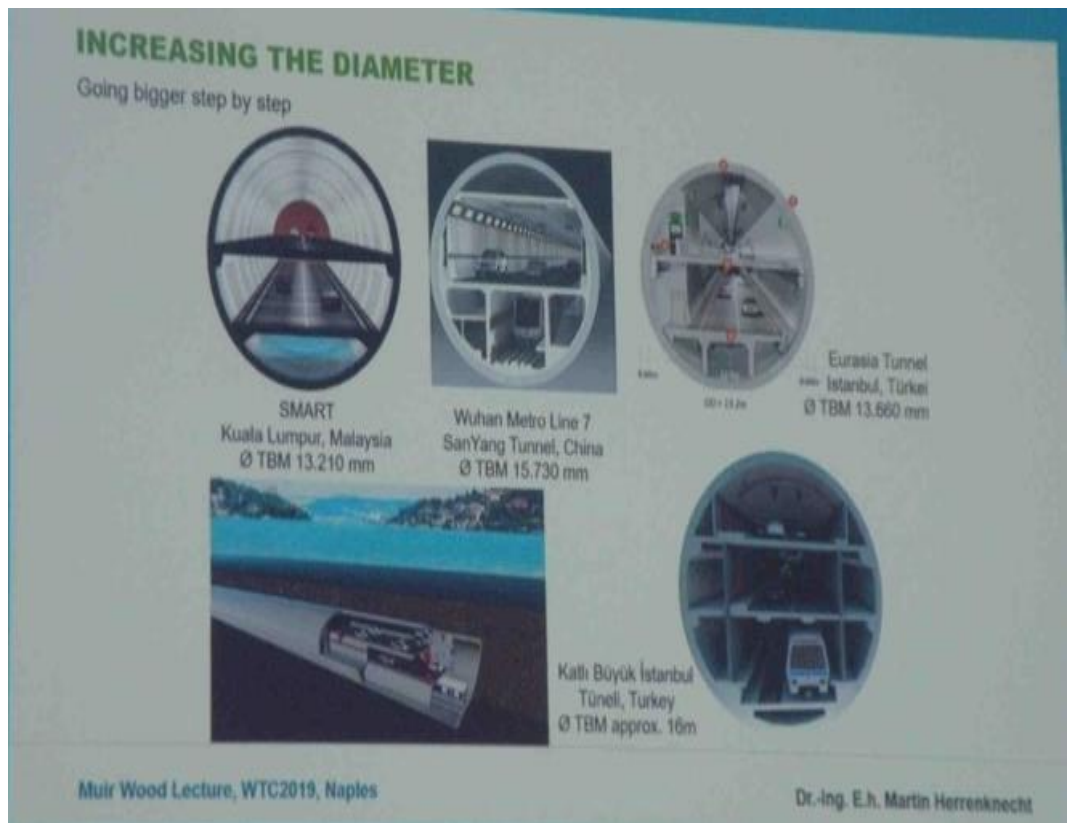


圖 4-3 隧道斷面及功能演進

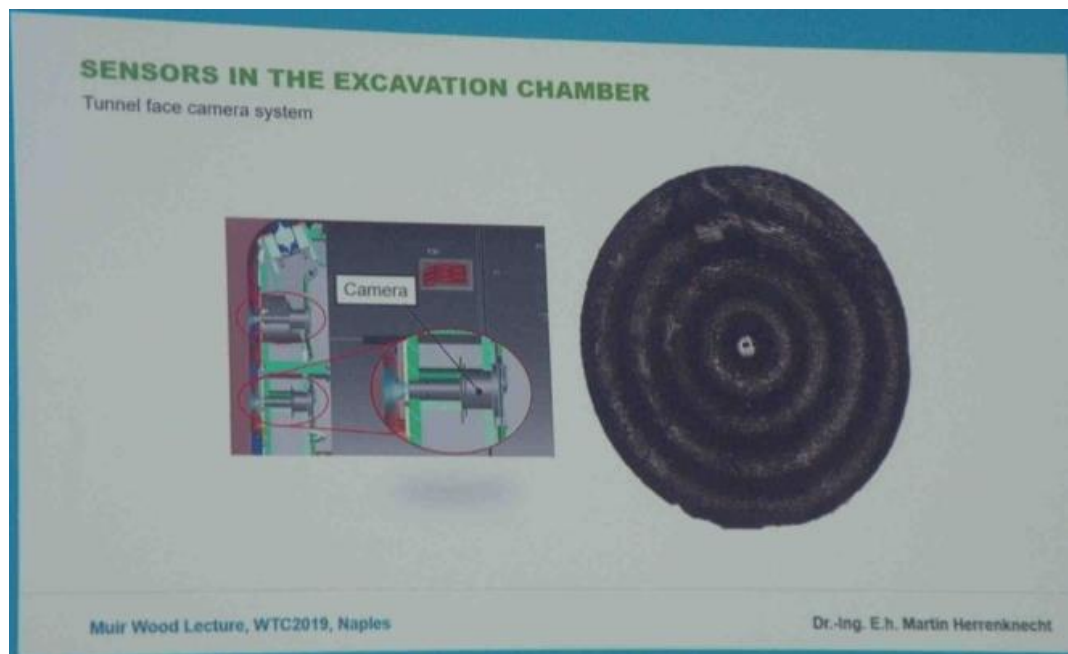


圖 4-4 切削盤安裝微形攝影機



圖 4-5 施工資訊數位化

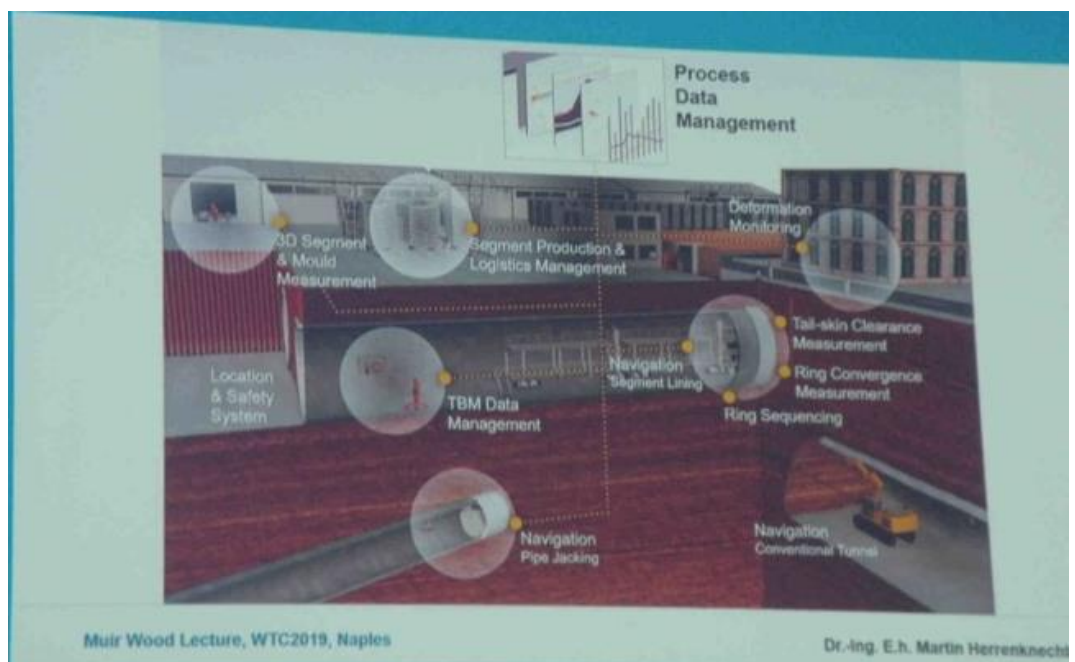


圖 4-6 施工資訊管理(BIM)

## (二)主題演講(Keynote Lectures)

### 1.數位化隧道(Digital Tunnels)



本論文主講者為 Gianluigi Vittorio Castelli，Castelli 畢業於義大利米蘭大學物理系，1997 年加入飛亞特汽車，擔任首席資訊官，領導大型 IT 轉型，2006 年回到義大利加入埃尼公司，擔任資訊和通信技術執行副總裁，重新設計整個資訊和通信技術架構，創造了義大利最大私有雲和能源中心(環境綠色資料中心)。2015 年 2 月創建 SDA 博科尼 DEVO 實驗室，致力於研究數位科技的衝擊影響，成為資訊系統實務專家。2016 年擔任費羅維.德洛.斯塔托義大利公司創新及資訊系統副總裁，2018 年擔任該公司總裁，2018 年 9 月當選國際鐵路聯盟主席，本次演說主要講述隧道數位科技的應用發展，因參加研討會人員眾多，本講次本人分配之會場係以視訊連線方式進行。



圖 4-7 主題論文演講-數位化隧道

## 2.世界最美的都會隧道施工(Tunnelling the most beautiful metro in the world)

本論文主講者為 Ennio Cascetta，為義大利那不勒斯費德理科伊勒大學運輸系統規劃及麻省理工學院交通系統高階建模的全職教授，他是許多國家使用的學術書籍作者，發表的國際論文超過 150 篇，他曾督導義大利基礎及交通建設部的規劃工作，也參與米蘭到那不勒斯的高速鐵路計

畫，及其他義大利地區及城市的交通建設規劃。本次演說主要講述義大利相關交通建設及那不勒斯的地下鐵路系統。本講次亦以視訊連線方式進行。

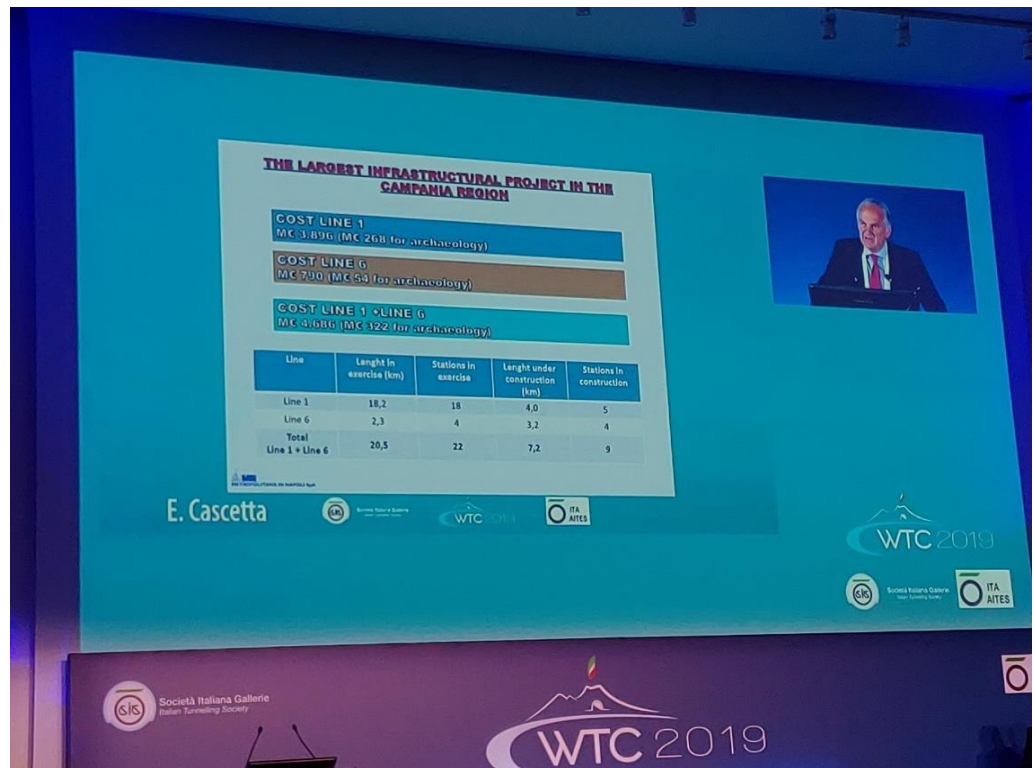


圖 4-8 主題論文演講-世界最美的都會隧道施工

### (三)研討會論文

#### 1.隧道資訊模型

由於建築資訊模型 (Building Information Modeling) 的高度發展，近年來各國均致力於如何將 BIM 之概念與技術應用於隧道工程，例如義大利即利用數值地形、區域地質圖與地表地質調查成果建立 3D 地質模型，除可評估未來隧道開挖沿線可能會遭遇之地質狀況，亦可針對地下坑室工程之地質狀況建立 3D 模型。

瑞典則是將隧道沿線之鑽孔柱狀圖，透過 BIM 技術建立隧道沿線 3D 地質模型；義大利甚至將其地層分層並直接匯入有限元素法之數值分析軟體，以供後續隧道開挖支撐設計檢核使用。

而隨著工業 4.0 (Industry 4.0) 的到來，義大利更嘗試將隧道施工之各項資訊透過 BIM 系統整合，並傳輸至行動載具平台上，使隧道施工管理人

員、監造人員與業主相關人員透過行動載具便可掌握現場施工狀況與進度。

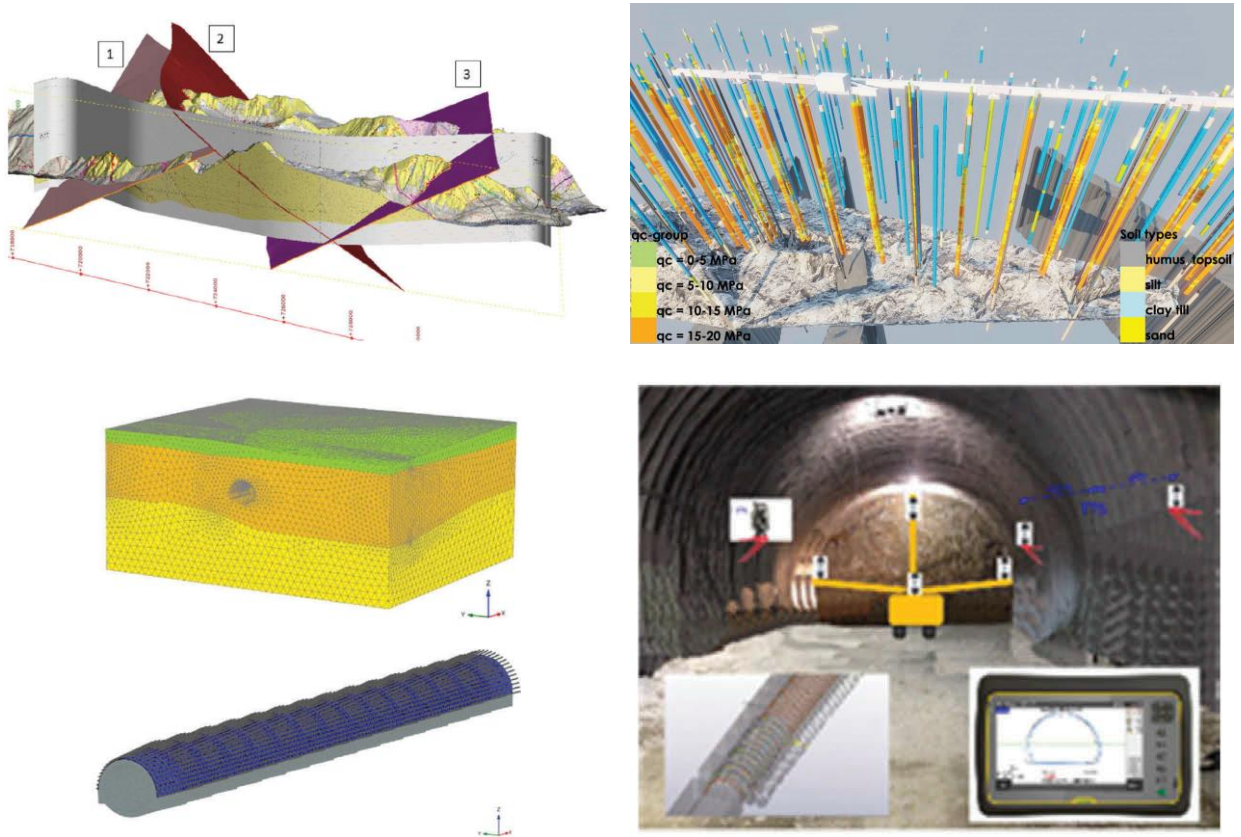


圖 4-9 隧道應用 BIM 技術實例(義大利與瑞典)

## 2. 隧道 3D 掃描

隨著隧道掃描技術之進步，許多國家之隧道工程已逐漸將隧道 3D 掃描技術應用於隧道施工階段，例如：奧地利與日本分別利用隧道 3D 掃描技術建立隧道開挖圍岩與開挖面之隧道 3D 影像，除可判斷該輪進之超挖/欠挖狀況，透過影像辨識技術更可輔助判斷隧道開挖面之主要地質構造，以利下一輪進開挖支撐之研判與調整，如圖 4-10 所示。



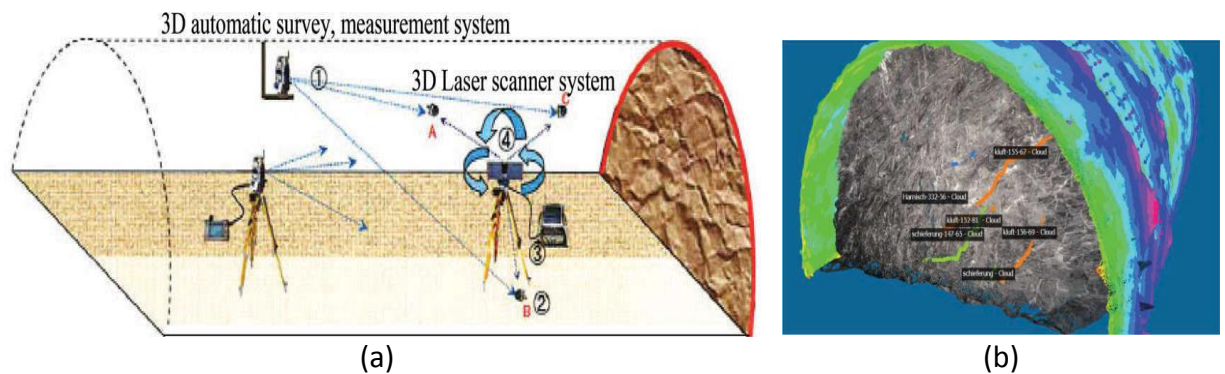


圖 4-10 隧道開挖 3D 掃描案例(日本與奧地利)

### 3.剩餘土石方處理

因隧道施工可能對環境造成影響之各項議題已越來越受各國重視，其中有關隧道開挖之剩餘土石方處理更是各國隧道工程之棘手問題，故法國於 2016 年制定隧道開挖剩餘土石方之 3 種處理方案：(1)於該標工程使用，包含用於基礎回填、路基填築、混凝土襯砌或預鑄環片等；(2)用於鄰標工程；(3)自設土資場或運送至工廠回收再利用；而為落實前述概念，法國甚至於 TBM 後方碴料輸送帶安裝“比色裝置(colorimetric device)”，同時透過 CCD 影像與雷射掃描之色差與顆粒大小判斷開挖碴料之種類，以利後續回收再利用，詳見圖 4-11。

而瑞士於興建 Gotthard Base 鐵路隧道時，則是分別於隧道內或洞口設置碴料碎解廠與分類場，直接回收再利用於混凝土粗骨材或路基填築；無法再利用之剩餘土石方，則透過輸送帶、火車或船舶等綠色運輸工具至自設土資場、填湖塑造人工島等手段，以大幅減低剩餘土石方量與卡車運輸對當地生態環境之衝擊與影響，詳見圖 4-12。



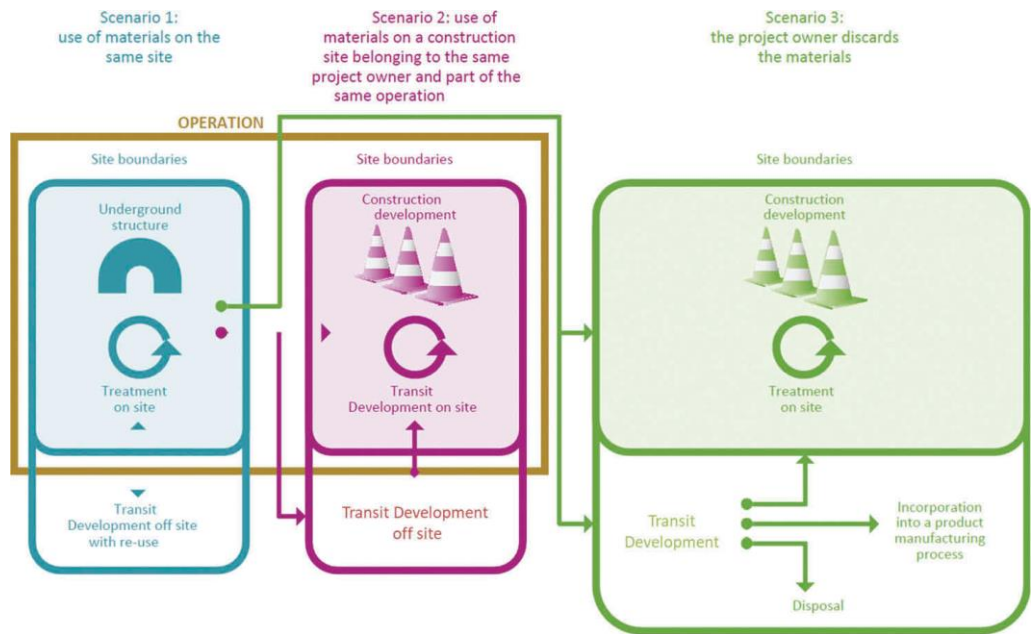


圖 4-11 隧道開挖土方處理概念



圖 4-12 Gotthard Base 鐵路隧道開挖碴料處理

#### 4. 隧道受震

義大利於 2016 年 10 月 30 日發生規模 6.6 地震後，其中部 San Benedetto 隧道中段產生嚴重之損壞現象，其後經地表地質調查、隧道內詳細檢測與 3D 地質模型之建置，判斷由於該隧道中段通過一斷層帶，經地震作用

## 5. 仰拱隆起

13

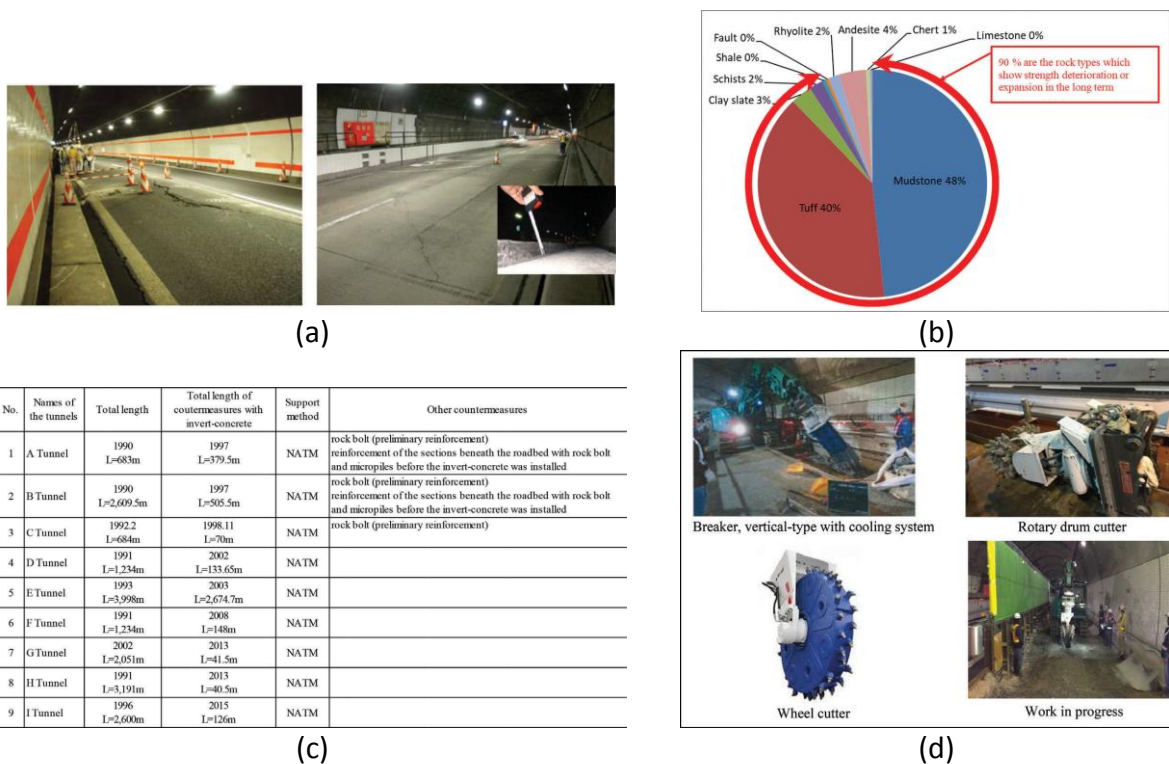


圖 4-14 日本公路隧道仰拱(路面)隆起案例與對策

## 6. 隧道檢測與維護

雖本次研討會並未將隧道檢測與維護納入主要議題，惟論文集內仍有多達 20 幾篇文章與此議題相關，隨著各國隧道工程已蓬勃建設，各項隧道或地下工程已逐漸進入長期維護與管理期，故隧道定期檢測、評估與加固補強成為未來發展重點之一。有關隧道檢測方面，日本與中國相繼開發了隧道影像掃描(CCD)與透地雷達(Ground-Penetrating Radar, GPR)整合之檢測車，能同時擷取隧道襯砌表面影像、襯砌本身及其背後狀態等資訊，如圖 4-15(a)所示；而德國則是將光達掃描技術(TS3)與 CCD 影像掃描技術整合(簡稱 TS4)，前者具有隧道內淨空斷面、襯砌表面灰階影像與熱影像，後者則能呈現彩色之襯砌表面影像，有利於白華與鋼筋腐蝕之判釋，如圖 4-15(b)所示。

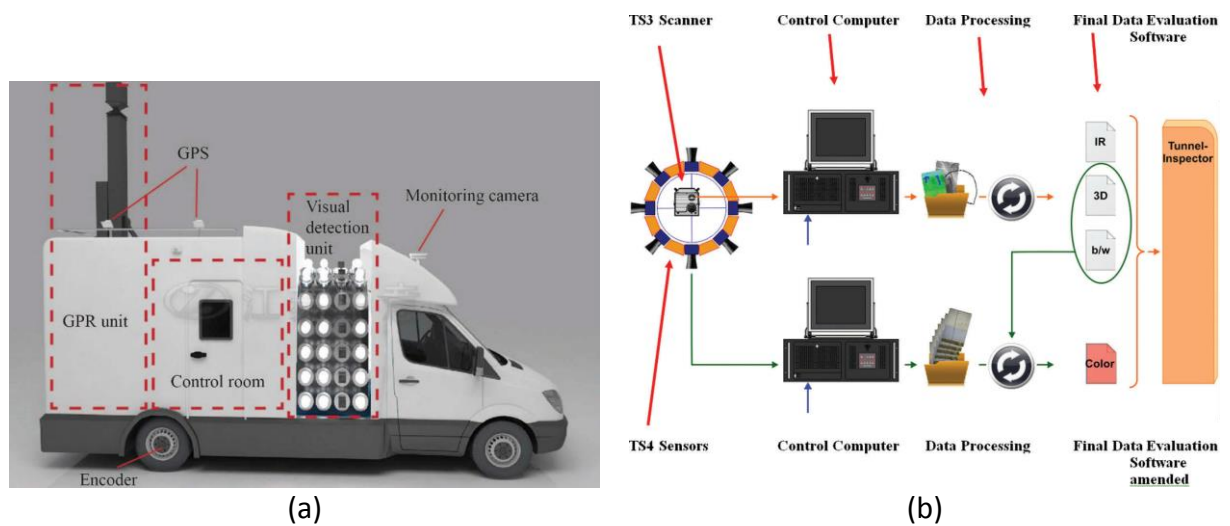


圖 4-15 隧道檢測設備整合(日本與德國)

## 7.山岳隧道 TBM 夾埋脫困技術探討

本論文係由來自臺灣的李佳翰博士發表，本文首先蒐集彙整國外 15 個山岳隧道施工之 TBM 夾埋案例，從中歸納出夾埋之 TBM 機型、隧道尺寸、覆蓋深度與地質狀況，並以國內 2 座隧道(雪山隧道與曾文越域引水隧道)之 TBM 施工案例與經驗，提出 TBM 夾埋脫困技術。

TBM 夾埋受工程地質條件組合不同，有不同的夾埋情況及破壞類型，針對難以掌握的地質變異，前期的預防對策(先撐工法、地盤改良工法)及後期的脫困方案(迂迴導坑工法、頂導坑工法)已廣國內外山岳隧道採用。

透過案例分析，若屬輕微夾埋狀況，則可先嘗試採用 TBM 本身具有之擴挖切削設備脫困，若仍無法脫困，則建議先進行補充調查，確認受夾埋區域、鬆弛岩體範圍等，再決定採用迂迴導坑(Bypass Tunnel)或頂導坑(Top heading Tunnel)工法脫困，詳見圖 4-17~18。





圖 4-16 李佳翰博士進行論文發表

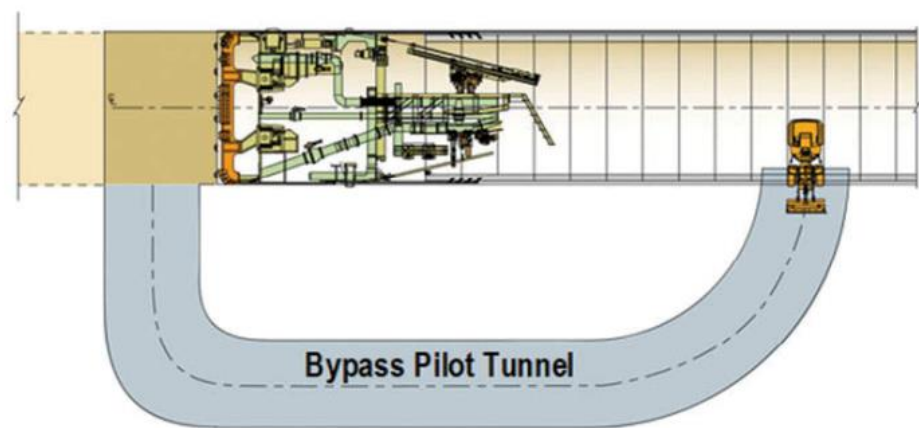


圖 4-17 迂迴導坑工法示意圖

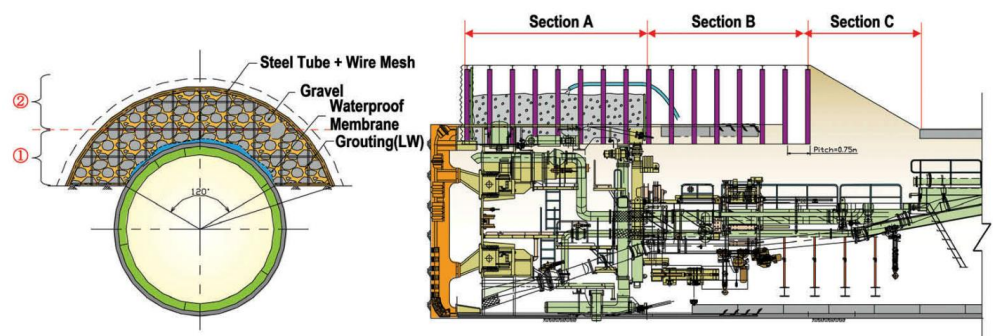


圖 4-18 頂導坑工法封堵回填作業示意圖

#### (四)電子海報

本次大會首創電子海報展示方式，共計 500 篇文章以電子海報呈現 (Poster Presentations)，電子海報展示機於會展中心陳列共 10 面，研討會參與者可利用海報螢幕選擇欲流覽之論文，並可透過大會設計之 APP 進行與作者預約時間面對面溝通討論，大會也特別舉行電子海報票選，選出最佳論文於閉幕式進行頒獎。

臺灣方面共有臺灣大學土木系王泰典教授與中興工程顧問社蕭富元博士等 2 篇文章入選電子海報，王泰典教授發表之文章為「Response of tunnel surrounding rocks in heavily deformed ground: Case study of Dongao Tunnel, Taiwan」，主要介紹蘇花公路改善計畫之東澳隧道新建工程受深層重力變形與岩體異向性影響，導致隧道施工期間局部區段遭遇抽心、擠壓等困難與挑戰，以及業主、監造與施工 3 方所建立之多重地質調查技術與綜合預報、風險管理與及時通報系統等施工管理制度。

蕭富元博士發表之題目為「Hydrogeological investigation and environmental impact assessment during a large water inflow tunnel construction in Taiwan」，主要介紹蘇花公路改善計畫之東澳隧道於施工期間曾發生大於 10 T/min 的湧水，因此，為了評估隧道施工對地下水資源的影響，進行了各種水文地質調查，包括：隧道滲流量量測、地下水位觀測與三維水文地質模擬。雖研究結果發現地下水位在隧道施工期間曾暫時(短暫)降低，但於隧道完工後則觀察到地下水位的恢復，此文針對隧道施工與地下水資源的相互關係提供了科學依據。

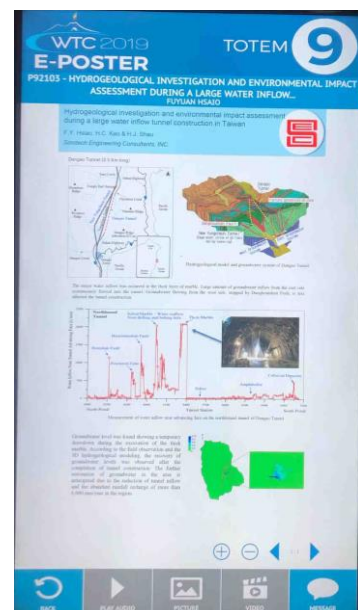


圖 4-19 電子海報論文展示

## (五)廠商展示

### 1.隧道檢查機器人

由英國 SCISYS 公司展示。SCISYS 公司主要提供資訊科技服務管理服務，其擁有機器人團隊，致力於開發自動及智慧化之機器人輔助各領域作業。本次針對隧道運用開發一款隧道檢查機器人，搭載攝影機或光達(Lidar)蒐集環境資訊，透過大數據深度學習，訓練機器人自動判釋隧道異狀，輔助土木工程師作業。

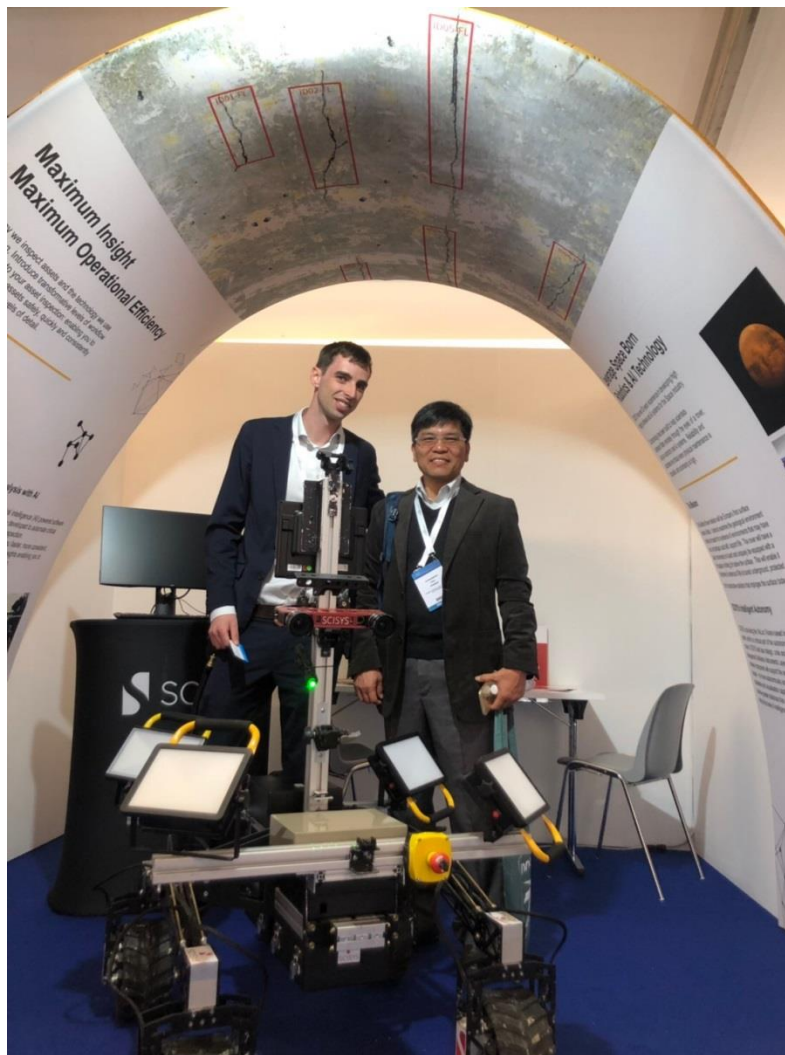


圖 4-20 隧道檢查機器人

### 2.鋼纖維於隧道之使用

由比利時 Bekaert 公司展示，其鋼纖維使用於任何種類之隧道，包含臨時噴凝土、內襯砌、TBM 環片等。



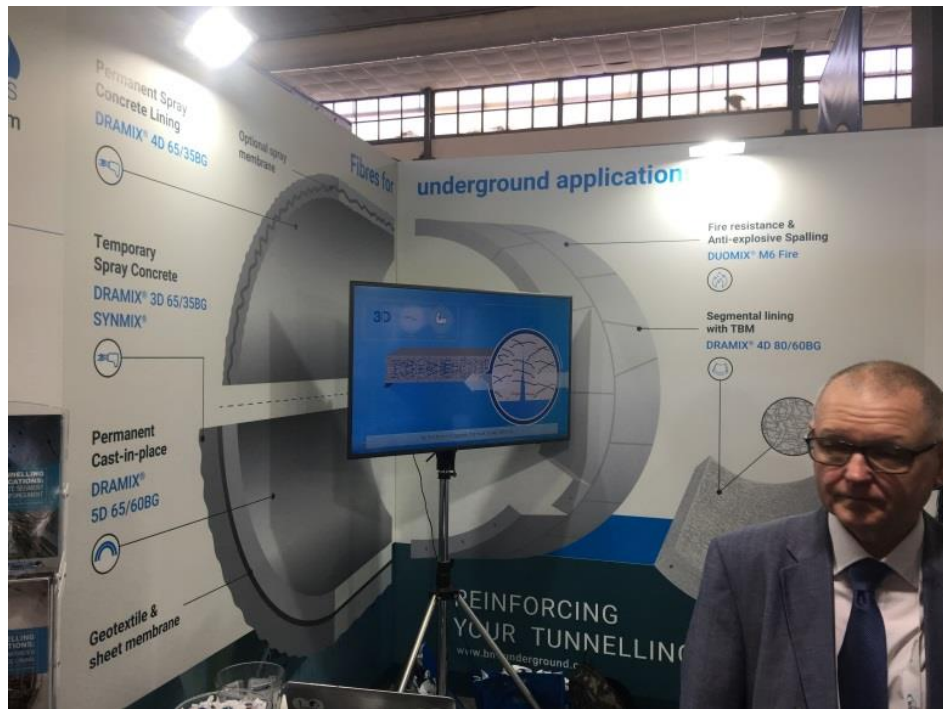


圖 4-21 鋼纖維於隧道之使用

### 3. 衛星資料運用

由義大利 NHAZCA 公司展示。NHAZCA (Natural HAZards Control and Assessment 自然災害控制和評估) 是羅馬 Sapienza 大學成立的公司，主要業務為分析和監測自然災害、大型基礎設施管理及減輕風險。本次展示的衛星資料運用，係開發 InSAR 的分析工具(InSAR Feasibility Tool)，詳圖 4-22。

InSAR(Interferometric synthetic aperture radar)為一種應用於測繪和遙感的雷達技術，測量方法使用兩幅或多雷達影像圖，根據衛星或飛機接收到的回波相位差來生成數字高程模型或地表形變圖。理論上此技術可以測量數日或數年間厘米級的地表形變，可以用於自然災害監測，例如地震、火山和滑坡，以及結構工程尤其是沉降監測和結構穩定性。

該項技術也受到國內工程界關注，國內顧問公司如台灣世曦工程顧問公司也積極開發相關的運用，這項技術也考慮應用在國道橋梁檢測作業。





圖 4-22 InSAR 分析工具

#### 4.鋼支保架設機

由西班牙 MACCAFERRI 公司展示，MACCAFERRI 公司是家材料、設備開發公司，提供土木工程相關服務。本次展出為一款鋼支保架設機，主打 1 操作手與 1 台設備就可架設支保，強調快速、安全、省人力。其鋼支保為圓管中空型，平常為摺疊狀態，架設時將其展開並藉由特殊接環固定，使鋼支保形成拱型，如圖 4-23 所示。

#### 5.全電力噴漿機

由瑞士西卡公司(Sika)展示。多數隧道開挖機械多以柴油作為動力燃料來源，隧道內施工環境差。該公司所展示之全電力噴漿機 Aliva 520 雖作業能量並不大，但由於全電力系統，對隧道施工環境改善有很大幫助，是隧道施工機械的一大亮點，如圖 4-24 所示。



圖 4-23 鋼支保架設機



圖 4-24 全電力噴漿機

## 6. 玻璃纖維加勁棒

由義大利 MAPLAD 公司展示。MAPLAD 公司是專門生產地下工程材料的公司，主要產品有玻璃纖維材料、混凝土添加劑和預混合水泥產品等。本次展出為玻璃纖維加勁棒，主打取代傳統 TBM 工作井破鏡面之鋼筋混凝土中的鋼筋，其可加勁破鏡面的地質材料，又不阻礙 TBM 切削破鏡，提高功率、減少工期，如圖 4-25 所示。



圖 4-25 玻璃纖維加勁棒



## 五、心得及建議事項

筆者很榮幸能奉派前往義大利參加本次國際隧道協會(ITA)所舉辦之 2019 年 WTC 研討會，茲將此行之心得感想列述如后：

### (一) 重視傳承理念值得學習

國際隧道協會(ITA) 於本次研討會前 3 天即舉辦訓練課程(Training Courses)，雖筆者未參加該訓練，但從費用的優惠、課程及活動的安排等提供年輕會員相關資訊及服務，即可看出其培育後進者的用心。由於 BIM 建築資訊模型(Building Information Modeling)的高度發展，近年來各國均致力於如何將 BIM 之概念與技術導入隧道工程領域，無論是規劃、設計階段，甚至是施工與後續維護階段皆有實際應用案例，本次教育訓練重點即為 BIM 於設計、施工、操作及維護之運用及自動化監測、調查、管理以及設備操作等，尤其是 Deep Thinking Group 的交流，讓年輕會員有更具體深入的討論機會，其重視傳承理念值得學習。

### (二) 運用科技增加參與者互動

本次研討會首創 APP 及 E-Poster 功能，增加參與者互動，同時提供最佳電子海報票選，並於研討會閉幕時頒獎，值得國內相關單位辦理研討會參考(如圖 5-1)。



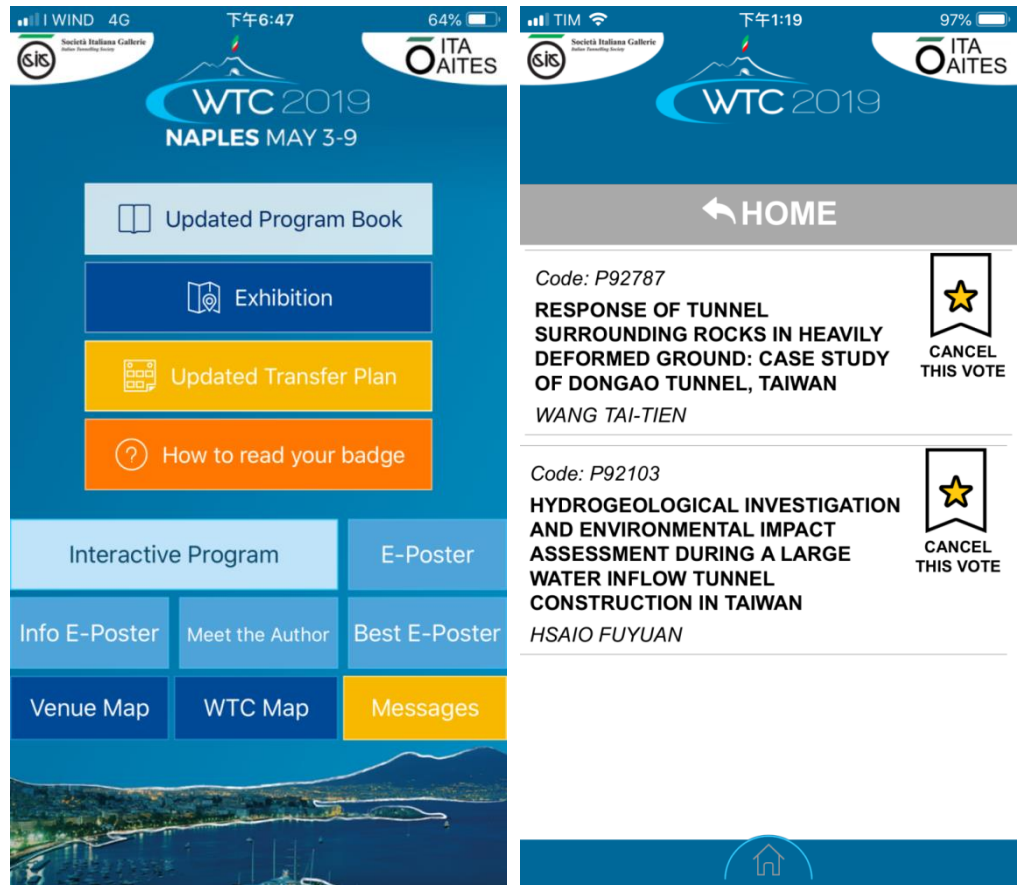


圖 5-1 研討會 APP

### (三) 全球對於環境保護課題越來越重視

有關隧道開挖之剩餘土石方處理已成為各國隧道工程推動關鍵議題，例如瑞士於興建 Gotthard Base 鐵路隧道時，為處理開挖土石，分別於隧道內或洞口設置碴料碎解廠與分類場，直接回收再利用於混凝土粗骨材或路基填築；而無法再利用之剩餘土石方，則透過輸送帶、火車或船舶等綠色運輸工具至自設土資場、填湖塑造人工島等；法國甚至於 TBM 後方碴料輸送帶安裝“比色裝置(colorimetric device)”，同時透過 CCD 影像與雷射掃描之色差與顆粒大小判斷開挖碴料之種類，以利後續回收再利用。

### (四) 隧道施工智慧化是未來趨勢

隧道工程的數位及智慧化已是全世界趨勢，BIM 在隧道工程數位及智慧化過程扮演相當重要的角色。BIM 有利於不同專業、國家的人員溝通、協同作業及整合，藉由可視化 3D 模型及模型攜帶的資訊，可將 BIM 加值運用擴展至 4D (時間)或 5D (成本)，提升隧道工程設計、施工及維護管理之品質。另隨著科技之日新月異，VR (Virtual Reality)虛擬實境與 AR

(Augmented Reality)擴增實境等技術已逐漸應用於各領域，未來藉由施工現場建立的數位化影像，透過配戴 VR 或 AR 眼鏡便可親自體驗隧道三維掃描影像、隧道內施工狀況。

臺灣是科技島，已成為工業化 4.0 之物聯網、人工智慧及區塊鏈技術之熱區，這次研討會的另一項標題即是隧道 4.0，希望國內隧道工程產、官、學界都能迎上隧道施工智慧化 4.0 的趨勢。