

出國報告（出國類別：開會）

## 2023 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：郭呈彰主任秘書

派赴國家/地區：希臘雅典

出國期間：112 年 5 月 11 日至 112 年 5 月 20 日

報告日期：112 年 8 月 9 日

# 目 錄

頁次

壹、摘要.....	1
貳、目的.....	2
參、過程.....	2
一、WTC 大會.....	2
(一) Muir Wood Lecture and Keynote Lecture.....	5
(二)我國臺大王泰典教授論文發表.....	8
(三)展覽.....	9
二、工程建設參訪.....	12
(一)邊坡工程與古蹟修復.....	12
(二)軌道運輸系統.....	13
肆、心得及建議.....	14

## 壹、摘要

國際隧道協會 (International Tunnelling and Underground Space Association, ITA) 2023 年國際隧道工程學會研討會 (World Tunnel Congress 2023) 於 2023 年 5 月 12 日至 18 日在希臘雅典 (Athens) 隆重舉行，為國際隧道工程界一年一度盛會。

本次會議的主題是「擴展地下」，強調地下空間可以提供多種優勢和解決方案，在一個全新智能技術時代的前景下，「數字工具」、「迅速改變調查、設計、施工和營運方法和策略」作為本次會議主軸。會議議程包括開幕式、邀請演講、主題論文發表與海報發表、閉幕式及工程參訪等。

本屆 Muir Wood Lecture 得主為 Marc Panet 教授，講授題目為「The Convergence - Confinement Method」，從開挖引致的地盤反力曲線 (GRC)、支撐圍束曲線 (SCC) 及縱向位移剖面 (LDP) 關係介紹，進而說明隧道開挖需特別注意的開挖面變形行為、以及目前評估岩體變形的模式與降伏區域延伸範圍等課題。本屆 Keynote Lecture 為 Kyriazis Pitilakis 教授，其講授題目為「Seismic design and risk assessment of tunnels & underground structures」，自隧道耐震設計的歷史及重要問題談起，及隧道地下結構類型和對強震的抗震性能、歐洲規範中隧道設計之耐震行為、實際隧道耐震反應及監測數據、隧道抗震性能之物理試驗結果等，提出地面震動及永久性地面位移的抗震設計原則，以及目前最新歐洲規範之抗震設計、針對重要結構物以脆弱性、風險及復原力評估三面向進行設計考量之思維。王泰典教授文章發表並被選為口頭報告，介紹我國台 9 線南迴公路草埔隧道湧水案例。

本次會場展覽廠商西班牙 Carfoam System 隧道表層防水包覆工法，因其施作時僅需封閉作業車輛所佔車道，不用全面封路，加上其施工容易，施作迅速，可為運轉中高速公路隧道漏水問題之處理方式選項，值得未來應用。

另外德國 Strata 公司之隧道開挖避難艙，可設置於開挖中隧道內適當地點，如遭遇施工中之災變，人員可進入提供通訊、影像、氣體偵測及淨化空氣之艙內避難，等待救援，可降低人員於施工中之風險。

## 貳、目的

國際隧道工程界藉由國際平台共同交流，本次大會雲集 ITA 會員國的代表進行議題交流和技術與設備展示，本次主題，擴展地下之知識和熱情對世界產生積極的影響，分列議題涵蓋：

1. 對地下空間可持續性和韌性的研究和投入
2. 地質、地層特徵和岩土工程現場勘察
3. 隧道及地下結構的規劃和設計
4. 機械化隧道(微型隧道)施工
5. 傳統隧道掘進和鑽爆法的應用
6. 具有挑戰性的隧道施工，案例分析和經驗教訓
7. 創新、機器人和自動化
8. BIM、大數據和機器學習在隧道施工中的應用
9. 地下基礎設施的安全、風險和運營
10. 項目合同實踐、保險和項目管理

會中強調多元的益處及解決方案在地下工程所創造的空間，在可預見的新世紀智慧科技及成熟的數位工具，將可快速改變探勘調查、設計施工及營運方式與策略；年會中也提供寬敞空間，展示全世界於隧道領域相關知名公司最新研發產品，供交流討論以提升未來之應用及技術。

## 參、過程

### 一、WTC 大會

本次大會議程主要包含 Opening Ceremony、Muir Wood Lecture、Keynote Lecture、Open Sessions、Technical Sessions、Poster Sessions、Exhibition 及 Technical Visits 等。以下簡要介紹：(1)Muir Wood Lecture and Keynote Lecture；(2)Technical Sessions；(3) Exhibition 之精采內容。

2023 年 5 月 12 日至 18 日在希臘雅典(Athens)隆重舉行，為國際隧道工程界一年一度盛會，研討會內外留影如圖 3-1，研討會議程如表 3-1。



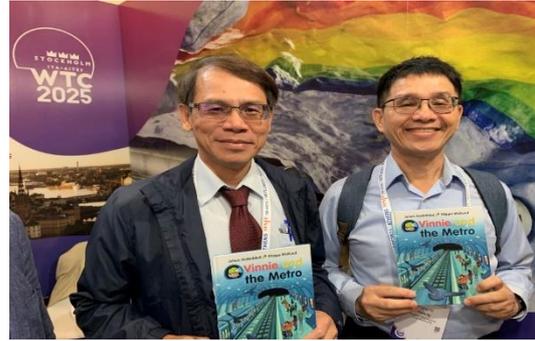
(a)大會 Opening Ceremony



(b)會場內留影



(c)會場內合影



(d)2025WTC 主辦國展覽會場留影

圖 3-1 研討會內、外留影



## (一)Muir Wood Lecture and Keynote Lecture

### 1.Muir Wood Lecture

本屆 Muir Wood Lecture 得主為 Marc Panet 教授，講授題目為「The Convergence – Confinement Method」。Panet 教授負責過許多地下工程、公路、橋梁等岩土工程之研究，並在專業期刊和國際會議上發表了大量的文章，及出版了著名的“Calculation of tunnels using the convergence-confinement method”一書。其相關簡歷如表 3-2。

表 3-2 12th Muir Wood lecture 得主 Professor Marc Panet 簡歷

事蹟	相片
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 畢業於巴黎礦業學院土木工程專業，於加州伯克萊分校獲得碩士學位。於 1965 年在巴黎中央橋梁實驗室開始其職業生涯。</li> <li>● 參與的工程：勃朗峰隧道(11.6 公里)、弗里尤斯公路隧道(12.9 公里)、大型電子-正電子對撞機(日內瓦的歐洲核子研究中心)、英吉利海峽隧道(1967 年到施工結束)、米勞大橋、Loetschberg 基地隧道(43 公里)、巴黎、雅典和阿爾及爾的地鐵、墨西拿海峽(意大利)的吊橋項目和金角灣(土耳其)的斜拉橋計畫等。</li> </ul>	

Panet 教授之演講，從開挖引致的地盤反力曲線(GRC)、支撐圍束曲線(SCC)及縱向位移剖面(LDP)關係介紹，進而說明隧道開挖需特別注意的開挖面變形行為、以及目前評估岩體變形的模式與降伏區域延伸範圍等課題，最後提出幾個開挖面變形、破壞之案例，包括無凝聚力土壤的崩塌、現地應力導致脆性岩石的岩爆現象、擠壓現象，最後以“岩石和土壤的可控變形分析方法”(Analysis of controlled deformation in rocks and soils, ADECO-RS)以為總結，詳見圖 3-2、圖 3-3。

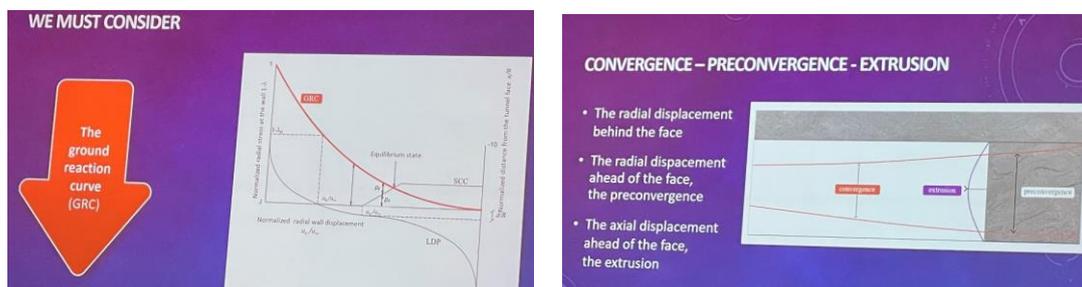


圖 3-2 Professor Marc Panet 演說主要內容(1/2)

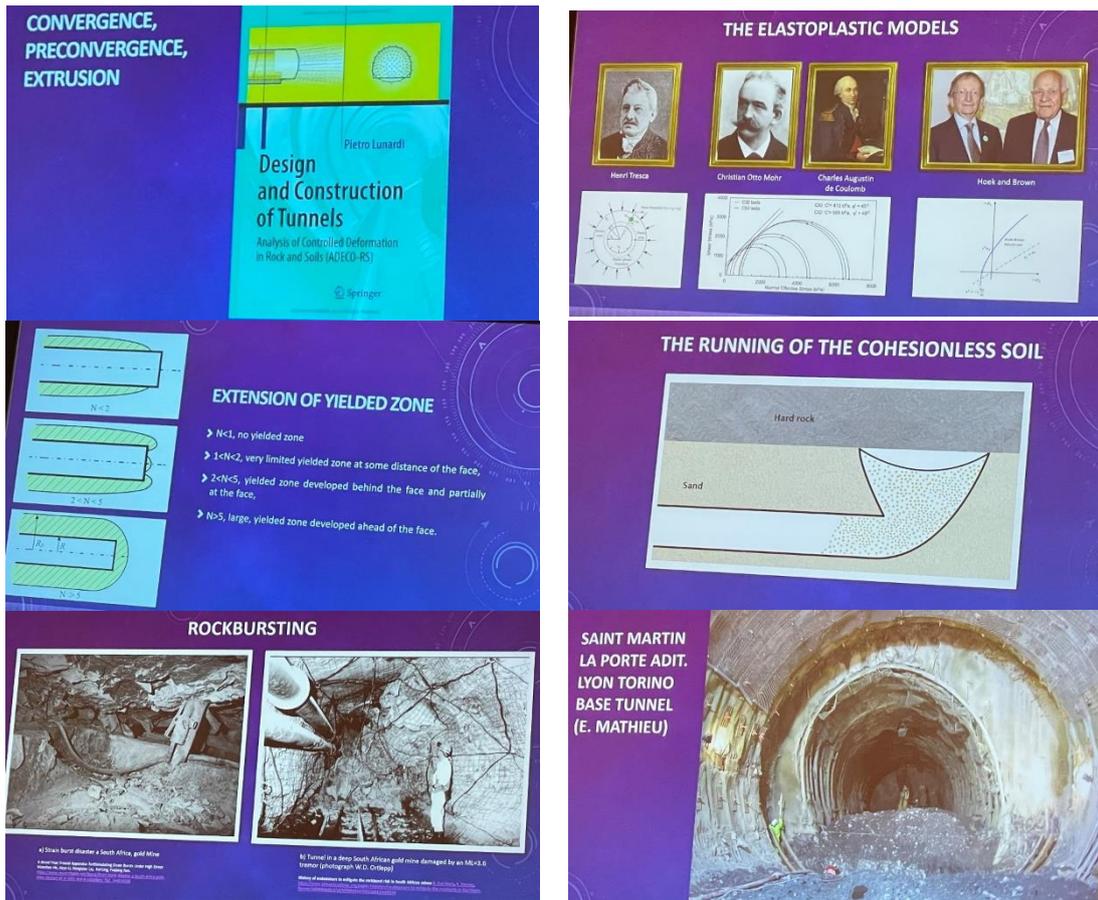


圖 3-3 Professor Marc Panet 演說主要內容 (2/2)

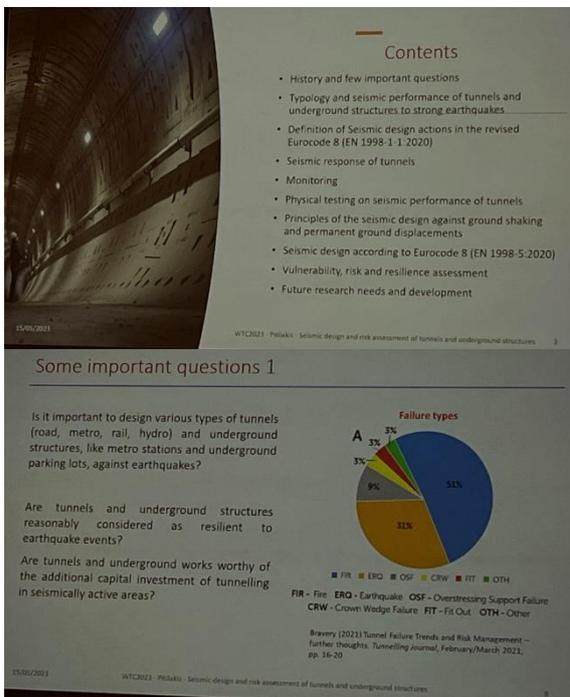
## 2.Keynote Lecture

本屆 Keynote Lecture 為 Kyriazis Pitilakis 教授，其講授題目為「Seismic design and risk assessment of tunnels & underground structures」。Kyriazis 教授在土木、地震和岩石工程方面有超過四十年的專業經驗，在科學期刊和會議論文集上發表了超過 650 篇科學論文(h-factor 57)，編輯四本在 Springer Editions 出版的書籍，都是關於地震工程、地震風險和岩土地震工程的相關主題，簡歷如表 3-3。

表 3-3 Keynote lecture - Professor Kyriazis Pitilakis 簡歷

事蹟	相片
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 現任歐洲地震工程協會(EAEE)副主席、國際土壤力學和岩石工程協會(ISSMGE)岩石地震工程前任主席。</li> <li>● 許多歐洲研究計畫(EUROSEISTEST(目前世界上獨一無二的地震工程、土壤動力學和工程地震學的大型實驗設施)和SYNER-G)的協調人和科學負責人，是土壤動力學、工程地震學和岩土地震工程等課題的十大國際領先研究人員之一。</li> <li>● 參與進行中 EC8(第 1 部分-地震作用和第 5 部分-地基、擋土結構、土壤結構相互作用、液化、斜坡穩定性和地下結構的抗震設計)的修訂工作，也是全球其他地震規範修訂的國際專家。</li> </ul>	

Pitilakis 教授演講，自隧道耐震設計的歷史及重要問題談起，及隧道地下結構類型和對強震的抗震性能、歐洲規範中隧道設計之耐震行為、實際隧道耐震反應及監測數據、隧道抗震性能之物理試驗結果等，提出地面震動及永久性地面位移的抗震設計原則，以及目前最新歐洲規範之抗震設計、針對重要結構物以脆弱性、風險及復原力評估三面向進行設計考量之思維，詳見圖 3-4。



**Contents**

- History and few important questions
- Typology and seismic performance of tunnels and underground structures to strong earthquakes
- Definition of Seismic design actions in the revised Eurocode 8 (EN 1998-1-1:2020)
- Seismic response of tunnels
- Monitoring
- Physical testing on seismic performance of tunnels
- Principles of the seismic design against ground shaking and permanent ground displacements
- Seismic design according to Eurocode 8 (EN 1998-5:2020)
- Vulnerability, risk and resilience assessment
- Future research needs and development

**Some important questions 1**

Is it important to design various types of tunnels (road, metro, rail, hydro) and underground structures, like metro stations and underground parking lots, against earthquakes?

Are tunnels and underground structures reasonably considered as resilient to earthquake events?

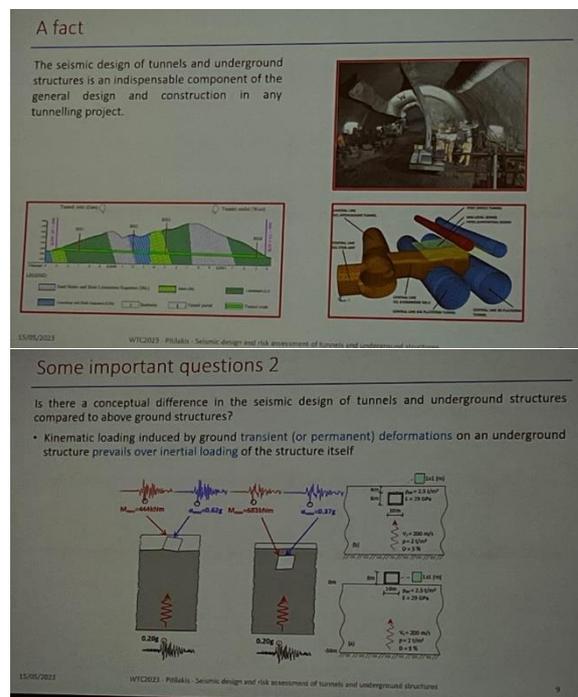
Are tunnels and underground works worthy of the additional capital investment of tunnelling in seismically active areas?

**Failure types**

Failure Type	Percentage
FR	3%
ERQ	3%
OSF	9%
CRW	31%
FIT	31%
OTH	22%

FR - Fire ERQ - Earthquake OSF - Overstressing Support Failure  
CRW - Crown Wedge Failure FIT - Fit Out OTH - Other

Bravry (2021) Tunnel Failure Trends and Risk Management – further thoughts, Tunnelling Journal, February/March 2021, pp. 16-20



**A fact**

The seismic design of tunnels and underground structures is an indispensable component of the general design and construction in any tunnelling project.

**Some important questions 2**

Is there a conceptual difference in the seismic design of tunnels and underground structures compared to above ground structures?

- Kinematic loading induced by ground transient (or permanent) deformations on an underground structure prevails over inertial loading of the structure itself

Diagrams illustrating seismic design actions and kinematic loading on underground structures.

Indicative list of design codes and guidelines

- AFPS/AFTES (2001) Guidelines on earthquake design and protection of underground structures. Version 1, Paris, France
- ISO (2005) ISO 23469: Bases for design of structures – Seismic actions for designing geotechnical works, International Standard ISO TC98/SC3/WG10. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization
- FHWA (2009) Technical manual for design and construction of road tunnels-Civil elements. Publication No. FHWA-NHI-10-034, Department of transportation, Federal Highway Administration, Washington D.C., U.S.
- GB 50909 (2014) Code for seismic design of urban rail transit structures. National Standard, China
- New!! CEN (2020) Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 5: Geotechnical aspects, foundations, retaining and underground structures. prEN 1998-5:2020, European Committee for Standardization, Brussels

Monitoring

Monitoring (SHM) of tunnels has routinely focused on assessing deformations, stability, integrity and alignment during construction and operation

The limited efforts to monitor the actual seismic response of tunnels are attributed to the seemingly reduced seismic vulnerability of underground structures, the difficulties in 24/7 operation, the significant length, the traffic constraints...

- 1800m Chungliao Tunnel in Taiwan,
- 660m Geogre Massey Tunnel in Canada,
- 6042m Nanjing Yangtze River Tunnel in China

- Axial strain recordings at various positions along a single section of the Senkai Tunnel (Ikuma, 2005)
- Note the cyclic temporal pattern and the "jump" associated with the EQ event

Ikuma (2005) Maintenance of the undersea section of the Senkai Tunnel. Tunn Undergr Struct Tech. 3(2):143-148

Design seismic actions according to EN1998-1-1

- Eurocodes classify structures into Consequence Classes (CC), depending on the consequences of failure or malfunction in terms of loss of human life, economic, social or environmental consequences
- Parameters that concern safety are National Determined Parameters (NDPs). Default values are provided in Eurocode 8
- Eurocode 8 requires that structures are designed in such a way that specified Limit States are not exceeded under prescribed seismic actions
- For new structures, it is required that, at least, the non-exceedance of the Significant Damage (SD) limit state be verified

Principles of Seismic Design

圖 3-4 Professor Kyriazis Ptilakis 演說主要內容

## (二) 臺大王泰典教授論文發表

本次研討會台灣方面有 1 篇文章發表並被選為口頭報告(Oral Presentations)，為臺灣大學土木系王泰典教授發表的文章，摘要如下：

王泰典教授介紹我國台 9 線南迴公路草埔隧道湧水案例。鑑於 1980 年代鄰近南迴鐵路中央、安朔隧道施工經驗，草埔隧道設計階段已研判施工過程可能遭遇湧水性地盤，因此進行了大量的地質調查，包括隧道全線 ERT(RIP)剖面、震波探測、垂直鑽探以及兩側洞口的水平長距離鑽探，隧道設計預擬了相關湧水防制措施，豎井區段並加強調查，成功地避免了大量湧水。然而在北口南下工作面(NS)，在 NS-626 輪進，即發現開挖面由乾燥轉變為潮濕，出露硬頁岩與變質砂岩，於 NS-650 輪進開始採用 30 m 不取心前進探查，迄 NS-685 輪進再轉為乾噪，NS-687 變質砂岩消失，準備進行不取心前進探查。NS-688 輪進完成前進探查後約 1 小時，探查孔出水轉為混濁，再演變成 27 m<sup>3</sup>/h 的湧水事件，造成開挖面附近已完成數輪進支撐損傷及前進面抽坍。

該事件歷經開挖面附近已支撐區段補強、開挖面加固、排水以及補充地質調查，確認鑽探孔出水位置接近中度傾角剪裂帶，開挖面前方亦可能存在另一高角度剪裂帶，兩剪裂帶可能相交。簡報後主持人詢問此案例之經驗回饋，如圖 3-5，王教授答以硬頁岩地層之薄層變質砂岩破碎，可能為地下水通過，惟追蹤不易，此案例之地質調查取得隧道基本地質資訊後，配合不取心探查應是目前可行的方式之一，儘管仍遭遇湧水事件，但其規模可控，值得參考。



圖 3-5 我國台大教授王泰典報告

### (三)展覽(Exhibition)

本次 WTC 2023 之參展眾多攤位中，選出可供未來國道隧道維護及施工相關且特別之產品進行說明。

#### 1. 隧道表層防水包覆工法-西班牙 Carfoam System

運轉中的公路隧道有漏水問題，西班牙的 Carfoam System 隧道表層防水包覆工法可為參考的選項(如圖 3-6, 3-7)。

本工法防水膜(Carfoam Sheet)由三層組成，外層(外露區)提供物理強度性質，中間層提供一定程度的隔熱性質，內層提供物理強度、排水及熱熔連接性質。依照使用需求，防水膜之層別構造可配合改變，以達到成效最佳化。防水膜具有防水、排水功能及隔熱(防火)之效能。

本工法具以下特點：

- (1) 容易於隧道內層表面施作。
- (2) 防水膜符合歐盟防火規定(Euroclass B s1 d0)，施作於隧道後無需再施作防火塗佈。
- (3) 防水膜施作時無需拆除隧道內既有機電設備如風機、燈具等。
- (4) 防水膜施作時僅需封閉一車道，未於施作影響處之車道可開放。
- (5) 安裝成本低。

- (6) 防水膜為明亮顏色且易於清理及修復
- (7) 容易施作，每日一工班可施作達 400m<sup>2</sup>。
- (8) 可僅於漏水處施作，不用全面施作。
- (9) 完工後 10 年保固。
- (10) 防水膜材質不影響透地雷達探測。
- (11) 防水膜適用溫度為 -60°C~80°C。
- (12) 防水膜可抵抗化學物質，包括強酸。
- (13) 使用於地下結構物防水膜具高度抗老化性質。
- (14) 防水膜施作後不影響隧道淨空。
- (15) 可使用於隧道施作中之任一階段之防水。



圖 3-6 防水膜施作於營運中隧道



圖 3-7 防水膜施工

## 2.Strata Worldwide Tunneling

Strata Worldwide Tunneling 為一間德國公司，公司服務項目涵蓋隧道/採礦施工機具、隧道通訊及隧道安全設施等。該公司之隧道避難艙(如圖 3-8)，可確保於隧道內侷限空間進行相關施工作業發生緊急災害時，施工人員可立即進入避難等待救援，最大可容納 26 人，避難艙以蓄電池提供 12/24V，依客製可維持 12~96 小時之電力以運轉避難艙內部之即時通訊、即時影像、氣體偵測及空氣淨化系統。

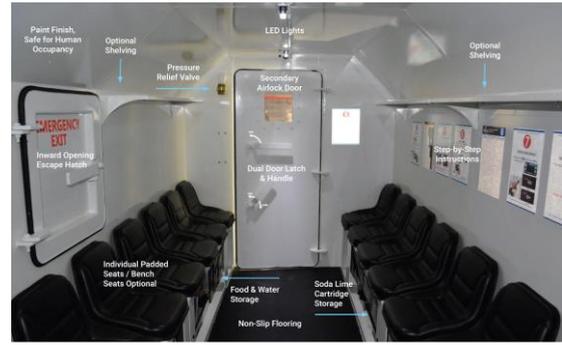


圖 3-8 Strata Worldwide Tunneling 隧道避難艙

## 二、工程建設參訪

本次參訪希臘工程建設摘述於下：

### 1 邊坡工程與古蹟修復

雅典衛城遺跡位於本次研討會會場西南方約五公里，建於海拔約 157 m 的一座高地上，估計其建於西元前五世紀，包括帕德嫩神廟、厄瑞克忒翁神廟、狄俄倪索斯劇場、雅典娜勝利神廟等皆位於其上，平面布置如圖 9，該遺跡已經聯合國教科文組織指定為世界文化遺產。

衛城座落位置之基岩以石灰岩為主，上覆變質狀態不一之大理岩，局部夾雜片岩出露。岩層表面風化程度高，片理、劈理發達，因此道路沿線邊坡設置岩栓及水平排水管進行邊坡保護(如圖 3-10)。

由於衛城內各建築物建成至今已逾 2,000 年，多處雕刻、梁柱、壁面已嚴重風化甚至損毀，希臘文化部及雅典衛城古蹟維護委員會(ESMA)亦陸續針對衛城內各建築物持續進行修復(如圖 3-11)。衛城的古蹟修復採原有材料修復為主，所以現場可見石料堆置區(如圖 3-12)，並將既有石料編號與保存，建物修復時再將石料放置回原有位置。至於嚴重破損或完全崩壞的區域，則透過舊有文獻資料的考察，將其回復原貌(如圖 3-13)。

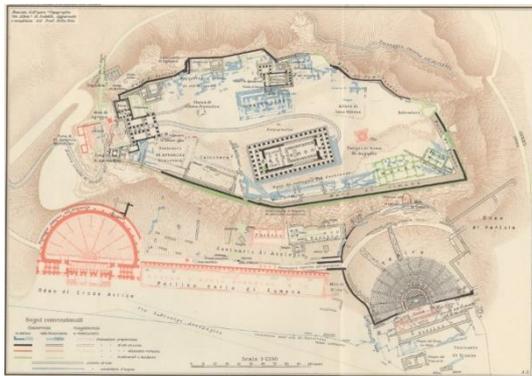


圖 3-9 雅典衛城平面布置圖



圖 3-10 衛城風化岩坡邊坡保護工



圖 3-11 雅典衛城修復工程



圖 3-12 衛城待復原石料堆置區



圖 3-13 神廟建物古蹟復原

## 2 軌道運輸系統

希臘雅典文明長久，其運輸系統完整，雅典捷運現有 3 條線路，如圖 3-14，共分為 1 號綠線(1869 年開始營運)、2 號紅線及 3 號藍線(2000 年開始營運)，總長 86.6 公里，共有 67 個車站，每日平均運量約為 111 萬人次。本次參訪 Syntagma 車站，為 2 號紅線及 3 號藍線之轉運點，因此旅客眾多，本車站環境乾淨明亮、建築融合當地特色，如圖 3-15~圖 3-16，足見管理者的用心。



圖 3-14 雅典地鐵線路圖及本次參訪 Syntagma 車站位置



圖 3-15 軌道及車站內狀況



圖 3-16 車站內建築與景觀

## 肆、心得與建議

很榮幸能前往希臘雅典參加世界隧道研討會(WTC2023)，除參加研討會外，並參訪體驗雅典捷運運輸系統及公共工程等，獲益良多，茲將此行心得感想綜整如后：

### 一、因應後疫情時代的會議新型態

本次會議參與分為現場實體參與及線上虛擬參加，其中線上虛擬參加部份，大會採用即時錄影、線上轉播的方式，提供無法到場參加的人員同步參與會議，此部份在 COVID-19 疫情期間已成為國內外會議之趨勢，其會議參與的平台首頁、研討會介面如圖 4-1~圖 4-2。此種會議新型態已逐漸被普及採用，並因應科技的進步而越顯便利，但現場實體參與提供人跟人間的互動與交流，仍無法被輕易取代之。



圖 4-1 本次會議平台首頁



圖 4-2 研討會介面及資訊

### 二、國外設計規範比較、追蹤及推廣

本屆 Keynote Lecture 邀請的 Pitilakis 教授提及，歐洲因跨國長隧道眾多、貨物運輸多仰賴大型聯結車等因素，故非常重視地震可能造成的危害，而持續不斷的進行實際隧道耐震反應及監測數據、抗震性能物理試驗等，並將其納入相關的設計規範中。目前國內隧道耐震設計規範，多僅於土層、覆蓋深度小(等)於 15m、及洞口段

需加以考量，有鑑於國內地震頻繁、山岳或岩盤隧道眾多，可借鏡國外設計理念，深入探討國內規範修訂之需求。

### 三、韌性建設、公共工程新思維

由於氣候變遷加劇，自然災害(包括地震、颶風、洪水)發生機率日益頻繁，強度也愈來愈大，許多國家都開始思考如何藉由基礎設施(如隧道、地下空間)等建設，來提升整個城市乃至於整個國家的韌性。台灣由於獨特的地理位置及地形條件，面對無可避免的颱風、洪水、乾旱、地震等天然災害，未來建設除工程全生命週期思考亦應強化韌性建設特質。

### 四、新工法及設備供國道建設及維護應用

本次會場展覽廠商西班牙 Carfoam System 隧道表層防水包覆工法，因其施作時僅需封閉作業車輛所佔車道，不用全面封路，加上其施工容易，施作迅速，可為運轉中高速公路隧道漏水問題之處理方式選項，值得未來應用。

另外德國 Strata 公司之隧道開挖避難艙，可設置於開挖中隧道內適當地點，如遭遇施工中之災變，人員可進入提供通訊、影像、氣體偵測及淨化空氣之艙內避難，等待救援，可降低人員於施工中之風險。