

出國報告（出國類別：出席國際會議）

2014 ISRM International Symposium
8th Asian Rock Mechanics Symposium
2014年ISRM國際研討會
第八屆亞洲岩石力學研討會

服務機關：國防大學理工學院環境資訊及工程學系

姓名職稱：李宏輝中校助理教授

派赴國家：日本

出國期間：2014年10月12日至2014年10月17日

報告日期：2014年11月10日

摘要

由國際岩石力學學會舉辦的第8屆亞洲岩石力學研討會為亞太地區岩石力學相關領域(大地工程、隧道工程與邊坡工程)二年一度之國際學術研討會，本屆研討會主題為「岩石力學的全球議題－自然災害、環境與能源」，旨在突顯岩石力學於解決全球暖化及新能源開發議題所扮演的角色，包括了二氧化碳捕獲與封存、地下核能電廠、核廢料深層處置與地熱發電等議題；此外，對於邊坡災害及地震引致大地工程災害等課題亦有持續的關注與研究。藉由此次國際研討會的參與，瞭解亞洲各國在岩石力學相關領域的發展近況，尤其是隧道與邊坡工程之應用與最新技術，及核廢料深層處置場址之最新資訊，並且掌握岩石動力學在各種實務課題的可能應用，亦透過與會者之間的討論增進學術交流。

目次

一、前言	1
二、目的	1
三、會議議程與論文	1
四、與會過程	2
五、會議議題重點	10
六、心得與建議	17

一、前言

由國際岩石力學學會(International Society for Rock Mechanics, ISRM)舉辦的第8屆亞洲岩石力學研討會(8th Asian Rock Mechanics Symposium)於2014年10月13日至17日在日本札幌(Sapporo)展開為期五天的短期課程、主題演講、議題研討與工程參訪等議程，為亞太地區岩石力學相關領域(大地工程、隧道工程與邊坡工程)二年一度之國際學術研討會。台灣方面有許多學校師生組團參與本次會議，包括台大土木系、北科大材資系、交大土木系、成大土木系、高雄大學土環系、建國科技大學土木工程學系及國防大學理工學院環境資訊及工程學系等，我國與會人員如圖1。



圖1 第8屆亞洲岩石力學研討會我國與會人員留影

二、目的

此行目的，在於了解亞洲各國在岩石力學相關領域的發展近況，尤其是隧道與邊坡工程之應用與最新技術，及核廢料深層處置場址之最新資訊，並且掌握岩石動力學(Rock Dynamics)在各種實務課題的可能應用，亦透過與會者之間的討論增進學術交流。

三、會議議程與論文

本屆亞洲國際岩石力學研討會的主題為「岩石力學的全球議題－自然災害、環境與能源(Rock Mechanics for Global Issues－Natural Disasters, Environment and Energy)」，大會會議議程包括開幕式、大會演講、專題演講、主題報告、青年學者論文演講、論文口頭發表與海報發表、閉幕式及會後工程參觀等，會議議程如表1所示，大會演講與專題演講講題如表2所示。

研討會論文計有來自39個國家469篇的摘要投稿，投稿領域分為大地災害的減緩(Mitigation of Geo-hazards)、環境議題(Environmental Issues)、能源議題(Energy Resources)與新科技及其應用(New Technologies and Fundamental Aspects)四大主題17項子課題進行論文邀稿，如表3所示，最後收錄的論文篇數計329篇。論文發表係自各主題收錄論文中選擇部份以演講型式發表，海報發表則由大會提供A1尺寸空間由作者準備海報發表，各主題口頭發表與海報發表論文數量一併整理於表4中。

會後工程參觀計有三條路線，包括了：(1)幌延町地下研究中心及重金屬廢土處置坑道(The Horonobe Underground Research Center and road tunnel disposal site of heavy metal-rich muck)；(2)北海道水力發電廠(A pure pumped-storage hydro-electric power plant – the under-construction Kyogoku Power Plant)及(3)北海道高速公路隧道興建工程(Hokkaido Expressway construction sites between Yoichi and Otaru)。

四、與會過程

本屆大會在主議程進行前一天開設了短期課程(Short Courses)，其主題包括了非連續變形分析討論會(DDA Workshop in ARMS8)、岩石工程與環境(Rock Engineering and Environment)、ISRM建議之岩石動態力學試驗方法(ISRM suggested Methods on Rock Dynamic Tests)、岩石與古遺址劣變之研究與評估(Methodologies and Cases for Researching and Evaluation the Deterioration in Rock and Earthen Relics)、岩石工程風險(Rock Engineering Risk)、隧道工程安全與風險評估(Tunneling Safety and Risk Assessment)與地下核能發電廠(Underground Nuclear Power Plant)。本人參加了「ISRM建議之岩石動態力學試驗方法」短期課程，並在主議程以海報方式發表研究成果，期間與來自日本、美國及印度之與會者有熱烈的討論。出席會議期間之行程摘述如表5所示，活動紀錄照片如圖1至圖5所示，期間參與的會議議題重點於項次五詳述。

表1 第八屆亞洲岩石力學研討會議程表

Date	Time						
12 (Sun)	08:30-17:00	Registration					
	09:00-17:00	Workshop					
	09:00-19:00	ISRM Board Meeting (Pearl AB, Level 20)					
13 (Mon)	08:30-19:00	Registration					
	09:00-17:00	Workshops and Short Course					
	09:00-12:30	ISRM Commission Meetings					
	11:00-12:30	ISRM Asian Council Meeting (Yayoi, Level 4)					
	14:00-19:00	ISRM Council Meeting (Royton Hall D, Level 3)					
	18:30-20:30	Welcome Reception (Café Trianon)					
Date	Time	Room A Royton Hall CD	Room B Empress Hall	Room D Highness Hall	Room E Crystal Room A	Room F Crystal Room B	Room C Regent Hall
14 (Tue)	08:00-18:00	Registration					
	08:30-10:10	Opening Ceremony & ISRM Rocha Medal Award Ceremony and Lecture (Room A)					
	10:10-10:30	Coffee Break					
	10:30-11:50	Keynote Lecture A (Room A)					
	11:50-13:00	Lunch (Lounge)					
	13:00-15:00	Rock Properties: Laboratory Tests I	Tunnels and Underground Spaces I	Earthquakes and Rock Dynamics I	Mining Engineering I	Organized session UNPP/URL	Poster session 15:00-16:00 Core time of Poster Session with Coffee and Tea
	15:00-16:00	Coffee Break; Core time of Poster Session (Room C)					
	16:00-18:00	Rock Properties: Flow, Transport, Geochemistry	Carbon Dioxide Capture and Storage	Slope Stability I	Mining Engineering II	Organized session DDA/MM	
	18:00-19:00	Exhibition Kickoff Party					
	18:10-	Students' Night					
15 (Wed)	08:30-10:00	Rock Properties: Laboratory Tests II	Tunnels and Underground Spaces II	Earthquakes and Rock Dynamics II	Slope Stability II	Petroleum Engineering I	Poster session
	10:00-10:15	Coffee Break					
	10:15-12:15	ISRM Franklin lecture and Keynote Lecture B (Room A)					
	12:15-13:30	Lunch (Lounge)					
	13:30-15:30	Rock Properties: Non-destructive Methods	Field Measurements and Tests I	Mining Engineering III	Radioactive Wastes, Coupled Processes I	Organized session Rock Engineering Risk	
	15:30-16:00	Coffee Break					
	16:00-17:30	Rock Properties: Laboratory Tests III	Tunnels and Underground Spaces III	Earthquakes and Rock Dynamics III	Radioactive Wastes, Coupled Processes II	Petroleum Engineering II	
	18:30-21:00	Banquet (Lounge) *Welcome cocktail will be served from 18:00.					
16 (Thu)	08:30-10:00	Rock Properties: Modeling	Tunnels and Underground Spaces IV	Earthquakes and Rock Dynamics IV	Reservoir Engineering		Site Characterization and Design I
	10:00-10:15	Coffee Break					
	10:15-12:15	Keynote Lecture C (Room A)					
	12:15-13:30	Lunch (Lounge)					
	13:30-15:00	Rock Properties: Numerical Simulations	Tunnels and Underground Spaces V	Field Measurements and Tests II	Risk Management and Disaster Mitigation		Site Characterization and Design II
	15:00-15:30	Coffee Break					
	15:30-17:00	Rock Properties: Specific Themes	Tunnels and Underground Spaces VI	Rock Mechanics at Great Depth			Environmental Aspects of Mining and Construction Engineering
	17:10-	Closing Ceremony (Room A)					
17 (Fri)	07:00-	Technical Tour					
18 (Fri)	-18:45	Technical Tour					

表2 第八屆亞洲岩石力學研討會投稿領域及課題

投稿領域	子課題
<p>1. Mitigation of Geo-hazards 大地災害的減緩</p>	<p>(1) Earthquakes and Rock Dynamics 地震與岩石動力學</p> <p>(2) Risk and Hazard Management 風險與災害管理</p> <p>(3) Disaster Mitigation 災損抑制</p> <p>(4) Slope Stability 邊坡穩定</p>
<p>2. Environmental Issues 環境議題</p>	<p>(5) Global Warming 全球暖化</p> <p>(6) Carbon Dioxide Capture and Storage 二氧化碳捕獲與封存</p> <p>(7) Radioactive Waste Disposal 放射性廢棄物處置</p> <p>(8) THMC Coupling 熱力-水力-力學耦合</p>
<p>3. Energy Resources 能源議題</p>	<p>(9) Mining Engineering 採礦工程</p> <p>(10) Petroleum Engineering 石油工程</p> <p>(11) Geothermal Power Generation 地熱發電</p> <p>(12) Reservoir Engineering 水庫工程</p>
<p>4. New Technologies and Fundamental Aspects 新科技及其應用</p>	<p>(13) Rock Properties and Site Characterization 岩石性質與場址特性</p> <p>(14) Geophysical Prospecting and Testing Methods 地球物理探勘與試驗方法</p> <p>(15) Tunnels and Underground Spaces 隧道與地下空間</p> <p>(16) Maintenance and Life Cycle Costs 設施維護與生命週期成本</p> <p>(17) Field Measurements and Back Analysis 現地量測與反算分析</p>

表3 第八屆亞洲岩石力學研討會大會演講與專題演講講題

項次	類別	講題	講員 (國籍)
1	大會演講 Franklin Lecture	Drying-induced Deformation Characteristics of Rocks 岩石乾燥過程引致的變形特徵	Masahiko Osada (日本)
2	大會演講 Rocha Medal Lecture	Effects of Carbon Dioxide Sequestration on Coal's Hydro-Mechanical Behaviour 二氧化碳捕獲過程對於含煤層水力-力學行為的影響	M.S.A Perera (澳大利亞)
3	專題演講	Tunnelling and Underground Construction in China - Challenges and Progress 中國大陸在隧道與地下工程建設的挑戰與進展	X. Feng, S. (中國大陸)
4	專題演講	Contributions of Rock Physics to Carbon Dioxide Capture and Sequestration 岩石物理特性對於二氧化碳捕獲與封存的貢獻	T. Matsuoka (日本)
5	專題演講	Key Coupled Processes Related to Gas-Fracturing in Unconventional Reservoirs 氣壓引致岩石破裂的關鍵耦合過程	D. Elsworth (美國)
6	專題演講	Geohazards Risk Management in India 印度的大地災害風險管理	Surya Parkash (印度)
7	專題演講	Environmental impact of Nuclear Waste Management Concerns from intermediate storage to final disposal 從核廢料暫存與最終處置之管理課題探討其對環境的衝擊	R. Christiansson (瑞典)
8	專題演講	Performance Assessment of Rock Cutting Tool 岩石削切工具效能評估	S. Jeon (韓國)
9	專題演講	A Reinforcement Design Methodology for Highly Stressed Rock Masses (高應力作用岩體之加勁設計方法)	E. Villaescusa (澳大利亞)

表4 第八屆亞洲岩石力學研討會論文發表場次與篇數

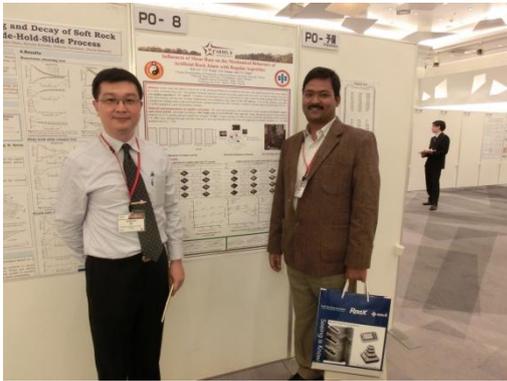
議程名稱	發表 篇數
1. Rock Properties (岩石特性):	51
Laboratory Tests (實驗室試驗)	19
Flow, Transport, Geochemistry (水流、傳輸與大地化學)	8
Non-destructive Methods (非破壞性檢測)	7
Modeling (模擬)	6
Numerical Simulations (數值模擬)	6
Specific Themes (特殊議題)	5
2. Tunnels and Underground Spaces (隧道與地下空間)	35
3. Earthquakes and Rock Dynamics (地震與岩石動力學)	24
4. Slope Stability (邊坡穩定)	11
5. Mining Engineering (採礦工程)	19
6. Carbon Dioxide Capture and Storage (二氧化碳捕獲與封存)	7
7. Petroleum Engineering (石油工程)	12
8. Field Measurements and Tests (現地量測與測試)	13
9. Radioactive Wastes, Coupled Processes (放射性廢棄物、耦合過程)	14
10. Reservoir Engineering (水庫工程)	4
11. Site Characterization and Design (廠址特性與設計)	11
12. Risk Management and Disaster Mitigation (風險管理與災害抑制)	6
13. Rock Mechanics at Great Depth (深層岩石力學)	4
14. Environmental Aspects of Mining and Construction Engineering (採礦與建造工程之環境議題)	5
15. Organized session (分組討論)	16
UNPP/URL (地下核能發電廠/地下實驗室)	6
DDA/MM (非連續變形分析/多重數值法)	6
Rock Engineering Risk (岩石工程風險)	4
16. 海報發表	102

表5 出席會議期間之行程摘述

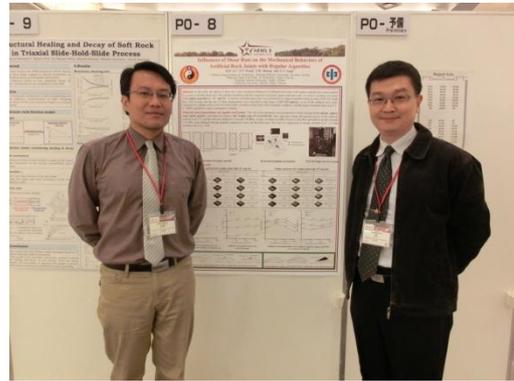
日期與時間	行程摘述
10/12(日) 07:00	自國防大學理工學院職務官舍出發至桃園國際機場，搭乘10:10班機，16:00抵達日本新千歲機場，
10/12(日) 19:00	抵達日本札幌市，入住飯店
10/13(一) 09:00	研討會報到，並參與短期課程(short courses)
10/14(二)~10/16(四)	參加研討會，如圖1至圖5
10/17(五) 09:00	離開飯店前往新千歲機場，搭乘17:00班機(原訂16:00班機，因桃園國際機場航班壅塞，致班機延誤1小時起飛)，20:10抵達桃園國際機場



圖1 科技部整合型研究計畫「精緻化順向坡災害機制調查、影響評估及監測」總主持人高雄大學土環系翁孟嘉教授(左二)、子計畫三主持人建國科大土木系羅佳明助理教授(左四)與子計畫四主持人國防大學理工學院環資系助理教授李宏輝(左一)



(a)



(b)

圖2 (a) 於海報張貼會場與印度Kharagpur理工學院之Abhiram Kumar Verma博士討論實驗條件與研究成果；(b) 與建國科大土木系羅佳明博士合影

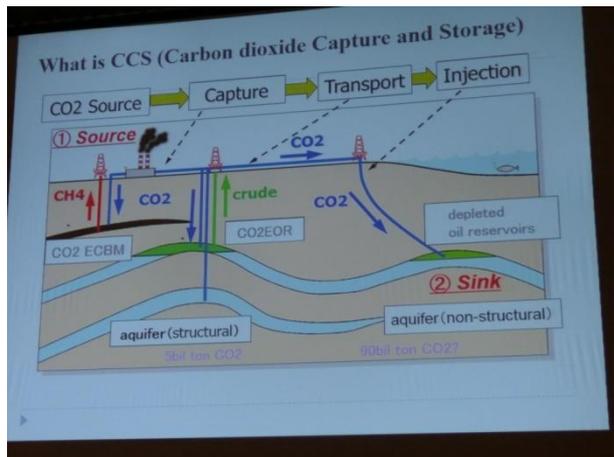
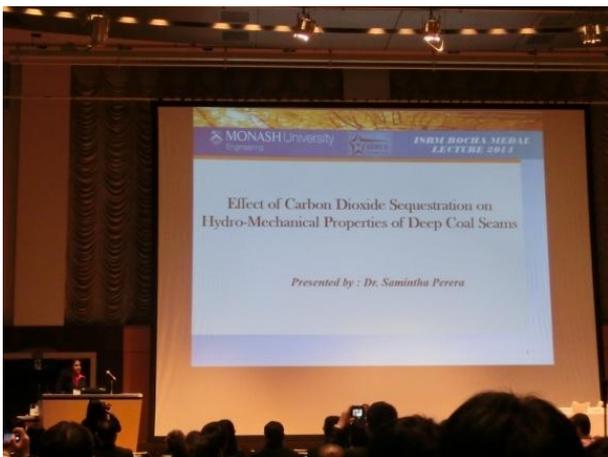


圖3 Rocha Medal Lecture得獎者M.S.A Perera博士以「二氧化碳捕獲過程對於含煤層水力-力學行為的影響」為題進行演說

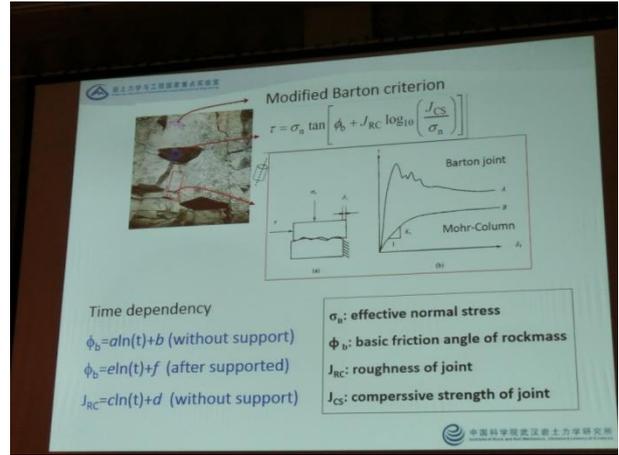


圖4 現任國際岩石力學學會主席Xia-Ting Feng博士以「中國大陸在隧道與地下工程建設的挑戰與進展」為題進行演說

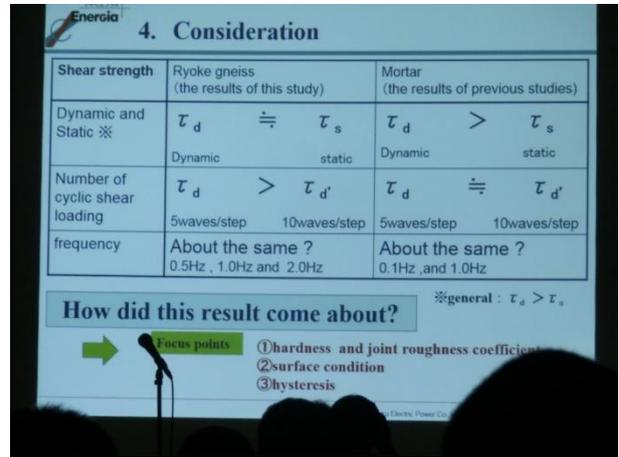
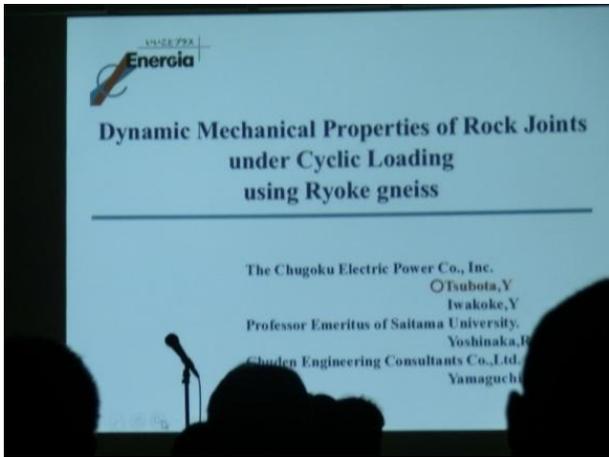


圖5 日本與會者 Tsubotaa發表「岩石節理面受循環載重作用之動態力學特性」(Dynamic Mechanical Properties of Rock Joints under Cyclic Loading using Ryoke Gneiss)

五、會議議題重點

本次技術研討包括了大會演講2場次，專題演講7場次，及口頭報告(Oral Presentation)與壁報研討(Poster Presentation)，其主題如前述表4所列15個項次。針對參與的議程及本人發表的研究成果，本報告擷取相關重點說明如后：

5.1 ISRM建議之岩石動態力學試驗方法(ISRM suggested Methods on Rock Dynamic Tests)

係由中國大陸的Kaiwen Xia教授(目前任教於多倫多大學)針對國際岩石力學學會在岩石動力學相關試驗的建議作法提出介紹。中國大陸近二十年在岩石動力學的發展及應用投入相當多的人力與資源，並在解析解、實驗研究與數值分析等方面有相當多的研究成果。本短期課程係針對岩石動力學在試驗設備、試體製作、試體尺寸及資料擷取等作一整理與匯集。岩石動力學試驗之困難，在於採用的設備需能提供中、高應變率之加載條件，另外在資料擷取設備部分，資料擷取率需夠快始能獲得足夠的資料點數，至於施測的試體尺寸(長徑比1:1)也有別於靜態試驗所採用的者(長徑比2.5:1)。

5.2 Franklin Lecture獎章－乾燥過程引致的岩石變形特性 (Masahiko Osada, 2014)

針對未飽和岩石與土壤，表面張力作用在孔隙水與孔隙管壁之間的接觸介面形成所謂的毛細管張力作用，在岩石力學與土壤力學中扮演著重要的角色，但囿於量測技術的困難，故在實際問題的分析上又常予以忽略。本研究的價值在於透過應變計的佈設與黏貼，如圖6所示，進一步分析探討岩石乾燥過程所引致的變形特性來探討表面張力的實際影響，室內實驗所採用的試體包括了 Opalinus黏土、Shirahama砂岩、Tage凝灰岩與輕質凝灰岩，另外，在Terri岩石地下實驗室進行現地的水分蒸發與岩石應變量測，藉以驗證與比較室內實驗與現地實驗的一致性。

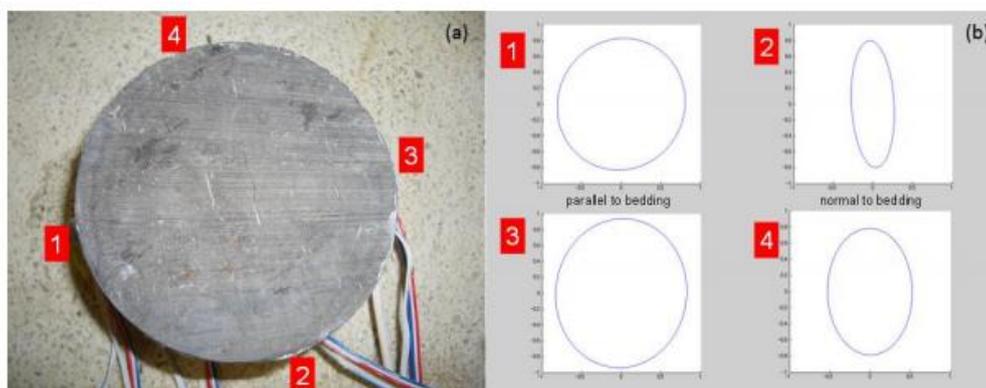


圖6 以Opalinus 黏土試體為例：(a) 應變計的佈設與黏貼 (b) 試體乾燥過程中觀察及分析的裂縫發展方向 (Masahiko Osada, 2014)

5.3 Rocha 獎章 – 二氧化碳捕獲過程對於含煤層水力-力學行為的影響 (Perera et al., 2014)

於深煤層進行二氧化碳封存作業時，如圖7，水力-力學耦合變化該過程中的關鍵問題，為能掌握CO₂的灌注能力及相關的安全問題，本研究的目的是在於探討超臨界CO₂注入過程中對煤炭層流通和強度性能的影響。研究顯示CO₂在較高的注射壓力條件下，其滲透率顯然隨著溫度的升高而增加。透過適當的數值方法可減少大量的實驗時間與成本，因此，本研究開發的數值模型可有效地用於預測三軸向實驗室條件下CO₂於煤層中的流動。

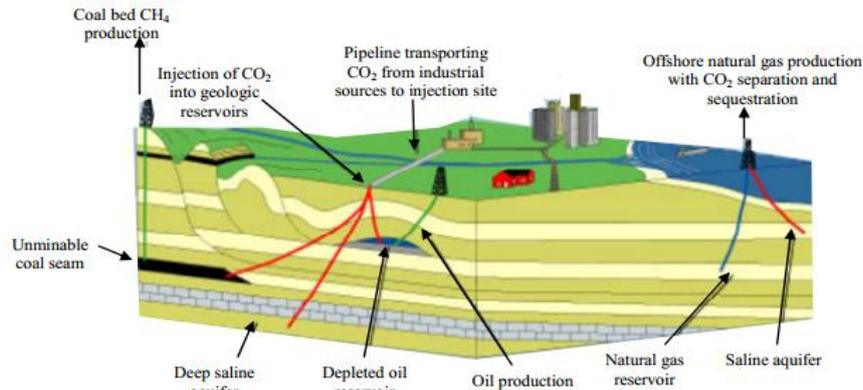


圖7 CO₂封存示意圖 (Perera et al., 2014)

5.4 隧道與地下工程在中國之挑戰與進展 (Feng, 2014)

這個專題演講介紹了中國大陸進行錦屏二級水電站隧道時所遭遇的地質困難、進展與技術應用。施工過程中克服的地質問題包括了岩體變形、嚴重的岩石爆裂、岩壓與地下水入滲等問題，期間施工單位針對軟岩擠壓控制與高圍岩應力及地下水等問題提出了一些創新且有效的分析和工程方法，中國大陸錦屏二級水電站隧道地質剖面圖暨特殊困難地質如圖8所示。

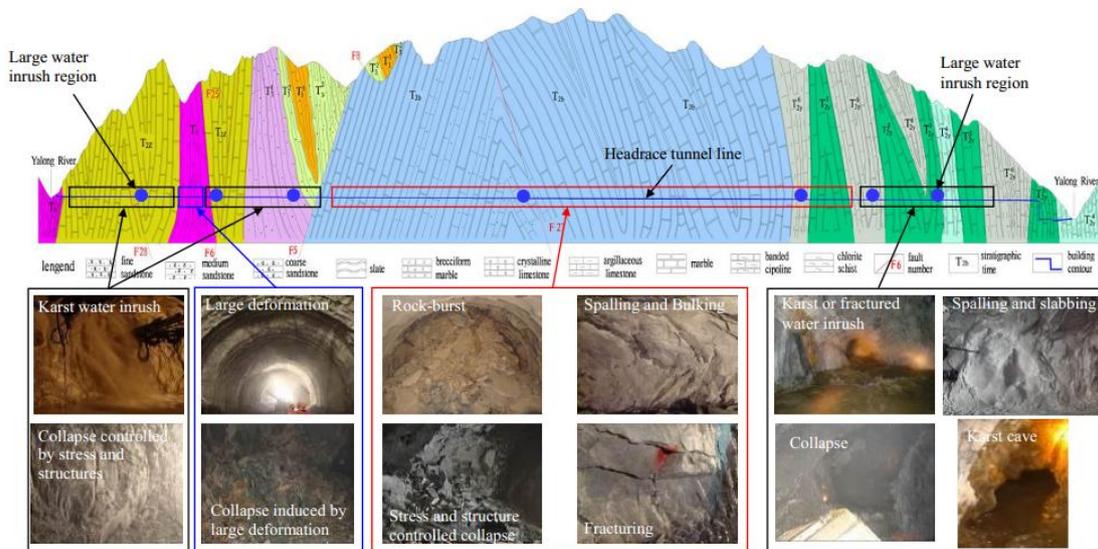


圖8 中國大陸錦屏二級水電站隧道地質剖面圖暨特殊困難地質 (Feng, 2014)

5.5 核廢料管理之環境影響從中期儲存至最終處置 (Christiansson, 2014)

岩石力學在核廢料處置工程扮演了極為重要的角色，在進行地下核廢料處置場的設計和施工作業時，必須考慮場址特性對處置場長期安全的影響，例如分析岩石熱力與力學的耦合關係，及氣候變化對處置場可能產生的影響。自然災害的影響也是需要考量的一部分。一般進行處置場安全評估需要考慮的因素如圖9與表6所示；而水系統於岩石、土壤和生物群中的流動則如圖10所示。2011年歐盟委員會(European Commission)透過理事會指示了三大工作目標：(1)建立確保乏燃料和放射性廢棄物的責任，安全管理，避免對後代造成不當負擔的共同體框架。(2)確保會員國提供適當的國家安排的高水平安全的乏燃料和放射性廢棄物管理，保護工人和免受電離輻射產生的危害公眾。(3)確保為用戶提供有關乏燃料和放射性廢棄物管理所需的公共信息和參與，同時充分考慮到安全性和專業知識的問題。故各成員國應制定國家計劃，確保政治決定轉成明確的規定，及時落實各項措施乏燃料和放射性廢物管理從產生到處置。

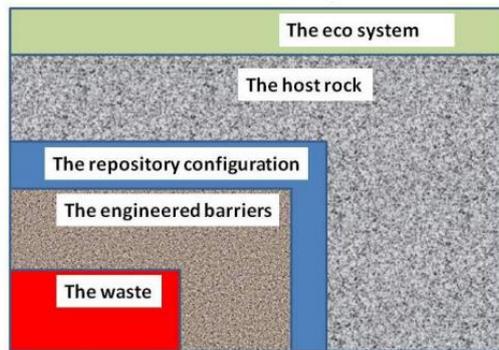


圖9 處置場安全評估需要考慮的因素 (Christiansson, 2014)

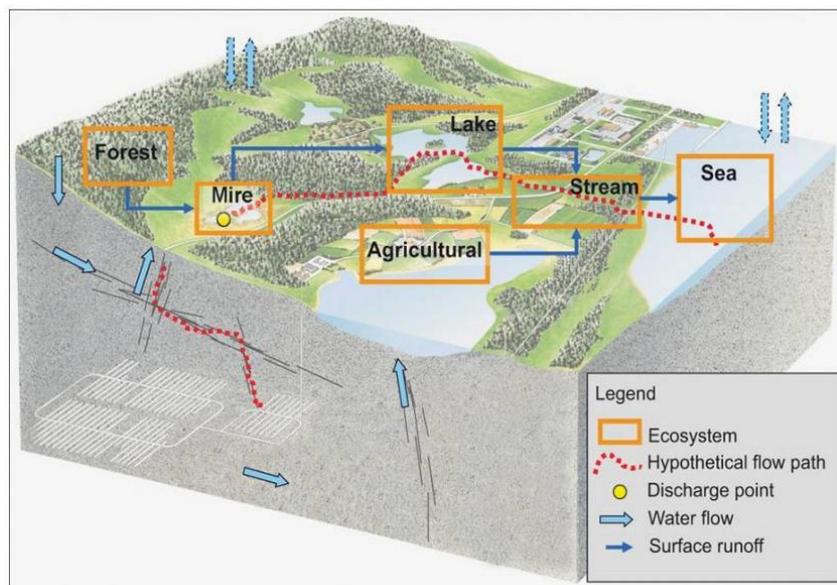


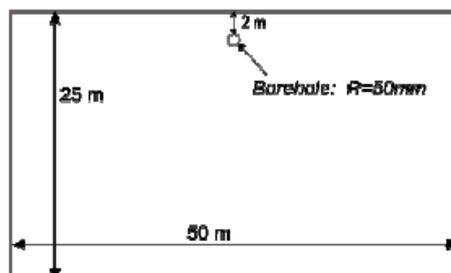
圖10 處置場的概念模型，包括了母岩、表土風化層、土壤、生物群與水系，假定的放射性核種傳輸路徑如紅色虛線所示 (Berglund et al, 2008)

表6 深層地質處置需考慮的工程與安全評估因素 (SKB, 2009).

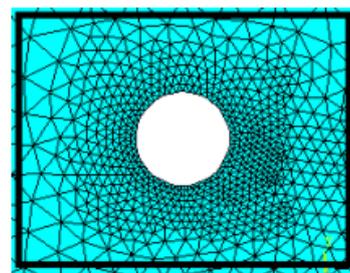
<i>Engineering factors</i>	<i>Safety assessment factors</i>
Initial temperature: Up – lower in situ temperature favourable for canister spacing.	Initial temperature: Considered in design, no direct effect.
Water inflow, grouting efforts: Up – lower groundwater pressure favourable. Down – if hydraulic conductivity decreases with depth.	Salinity and up-coning; Up – possibly lower inflow to facility. Groundwater pressure: Up – marginal importance.
Rock stability, rock stress: Above a tentative triggering depth were stress conditions may be unfavourable for tunnelling.	Rock stress: Above a tentative triggering depth were stress conditions may be unfavourable for long term effects around the deposition holes.
Available space, layout adaptation – 3D structural model: Undecided, site specific.	3D structural model – layout adaptation, degree of utilization Site specific – fracturing, thermal properties, hydraulic properties, stability.
Degree of utilization – fracturing, thermal properties, inflow, stability: Site specific.	Length and transport resistance of travel paths Down, longer paths generally favourable.
Environment (short term): Up, less excavated rock volume, less inflow (drawdown).	Fracture frequency and Transmissivity: Undecided, site specific.
Time and cost: Up, shorter access shafts and ramp.	Inadvertent human intrusion: Down, lower risk of intrusion, difficult to quantify.
Design of underground openings: Not affected.	Freezing: Down – reduces risk associated to permafrost Surface erosion: No importance.

5.6 結合有限元素與離散元素模擬岩石爆破之破裂過程 (H.M. An and H.Y. Liu, 2014)

本研究結合了有線元素法的連續體分析及離散元素法的分離元素分析，以模擬岩石爆破之破裂過程。採用的數值模型如圖11所示，研究設定了三種條件，包括了岩體鑽孔爆破與自由面爆破、同步爆破與考慮起爆延時的連續爆破，數值分析過程觀察了應力波傳遞、岩石破裂過程及碎片的運移，如圖12所示，同時參考相關文獻研究以比較驗證模擬結果的正確性。



a) Geometrical model



b) Finite-discrete element mesh around borehole

圖11 (a) 數值模型尺寸與編藉；(b) 於鑽炸孔週邊的有限元素與離散元素分佈 (H.M. An and H.Y. Liu, 2014)

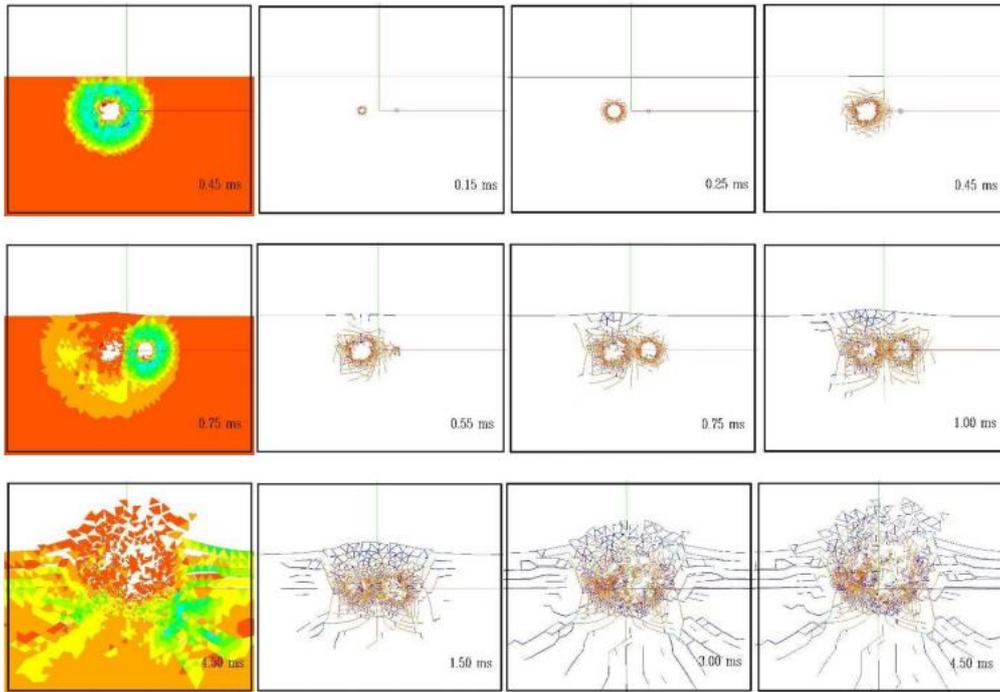


圖12 岩石爆破過程模擬 (H.M. An and H.Y. Liu, 2014)

5.7 岩石節理面反覆剪動之力學行為 (Tsubota et al., 2014)

考慮地震力作用時，岩體節理面的受力行為等同於反覆剪動作用，為能評估岩石邊坡或相關的基礎工程在地震力作用下的穩定性，本篇研究透過實驗研究探討節理面剪力強度之動態特性，尤其在剪動頻率與剪動循環次數對剪力強度衰減特性的影響，實驗過程採用了自行研發的岩石節理面動態直剪設備，並以水泥砂漿材料與片麻岩材質之節理面試體進行反覆剪動實驗。研究結果指出岩石節理面在反覆剪動條件下的剪力強度與靜態加載時並無太大差異，如圖13所示，但也指出了節理面表面特性，包括粗糙度、硬度、風化程度等，對於上述的差異有決定性的影響。

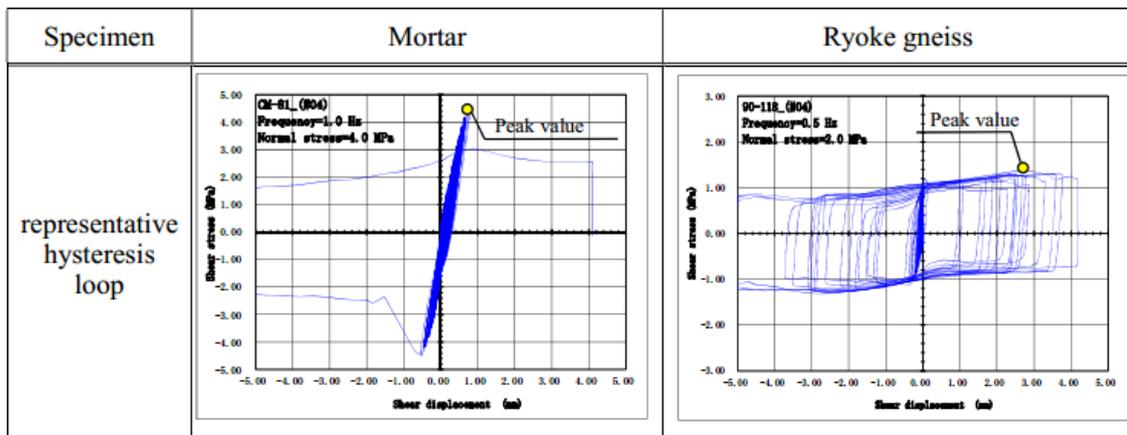


圖13 水泥砂漿與Ryoke片麻岩在反覆剪動下的剪力曲線

5.8 岩石邊坡穩定性之控制參數 (Abdullah et al., 2014)

在處理岩石邊坡穩定問題時，需掌握影響邊坡穩定的控制參數，囿於岩石材料的複雜性及相關影響參數眾多，此一問題仍屬岩石工程重要課題。本研究採用離散元素程式 (Universal Discrete Element Code, UDEC) 進行數值模擬分析，並透過參數研究 (Analysis of Variance, ANOVA) 探討岩石邊坡穩定性之控制參數。研究結果指出，節理面的位態 (orientation) 為最重要的影響參數，其次為水、坡角 (slope angle)、單位體積的節理數 (J_v)、節理粗糙係數 (JRC)、塊體形狀及節理岩壁單壓強度 (JCS)，相關參數如表7所示。

表7 岩石邊坡穩定性之控制參數敏感度分析

	Parameter	Level	Description	Reference
1	Block shape, BS	1	 Cube	
		2	 Columnar	
		3	 Tabular	
2	Volumetric Joint Count, J_v	1	Very low ($J_v < 1$)	(Palmstrom 1996)
		2	Low ($J_v: 1 - 3$)	
		3	Moderate ($J_v: 3 - 10$)	
3	Discontinuity orientation, DO	1	Daylighting 40°	
		2	Daylighting 20°	
		3	Non daylighting 40°	
		4	Non daylighting 20°	
		5	Dip into 40°	
		6	Dip into 20°	
4	Weathering grade, WG	1	Fresh ($UCS/JCS \leq 1.2$)	(Bandis, Lumsden et al. 1983)
		2	Moderately weathered ($UCS/JCS: 1.2 - 2.0$)	
		3	Weathered ($UCS/JCS \geq 2.0$)	
5	Joint Roughness Coefficient, JRC	1	Smooth planar (JRC=5)	(Barton and Choubey 1976)
		2	Smooth undulating (JRC=10)	
		3	Rough undulating (JRC=20)	
6	Overall slope angle, SA	1	40°	
		2	60°	
		3	80°	
7	Water in slope	1	Dry slope	
		2	Wet slope	

5.9 岩石節理面剪動速率效應對剪力強度及節理破壞模式的影響 (李宏輝等人, 2014)

本研究由國防大學理工學院環資系李宏輝助理教授、台北科技大學能資所王泰典教授、台灣大學土木系黃燦輝教授及淡江大學土木系楊長義教授共同發表。傳統的岩石節理直剪試驗係在慢速剪動速率下探討節理面力學行為，但在地震作用時，節理面的受剪速率可能會超過 10^1 mm/sec，一般直剪試驗是無法觀察到節理面在此種剪動速率條件下的剪力行為，故本研究嘗試利用高速率材料試驗機進行剪動速率 10^1 mm/sec 範圍內的岩石節理面受剪實驗研究。實驗採用 MTS 819 高速率材料試驗機，剪力試驗裝置則自行研製一套

雙剪力面直剪試驗設備，對模擬材料之規則節理面進行 10^{-2} 、 10^{-1} 、 10^0 與 10^1 mm/sec等四種剪動速率之剪力實驗研究。

實驗結果顯示平滑節理面基本摩擦角隨剪動速率達 10^{-1} mm/sec時有顯著增加的趨勢，但在剪動速率達到 10^0 mm/sec時則呈現緩慢下降；在 15° 與 30° 規則節理部分， 15° 規則節理的尖峰摩擦角並無顯著的剪動速率效應， 30° 規則節理的尖峰摩擦角則隨剪動速率增加而有緩慢增強的趨勢，如圖14所示，節理的破壞模式如表8所示。

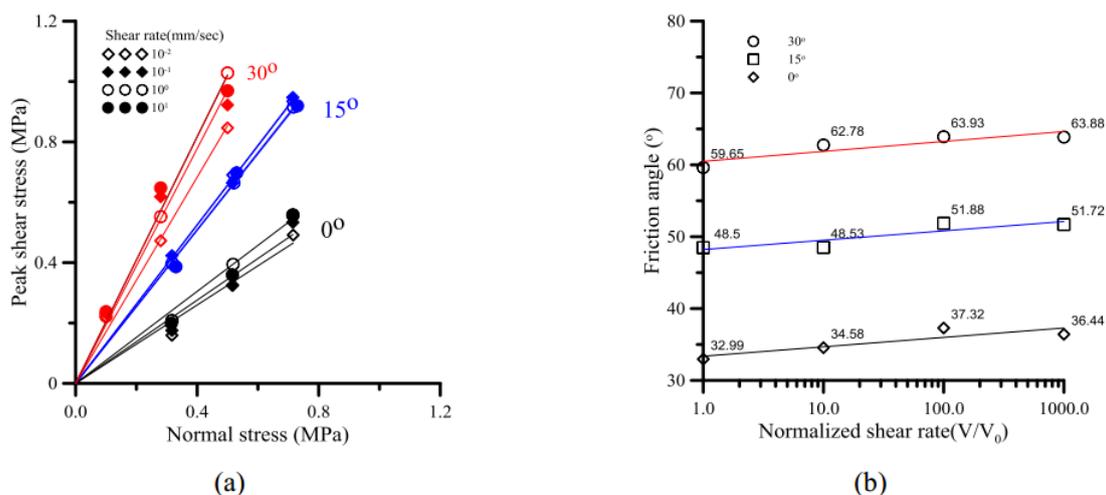


圖14 不同剪動速率條件下之(a)規則節理面牆度包絡線與(b)摩擦角

表8 不同剪動速率條件下之 15° 規則節理面破壞模式

Shear rate (mm/sec)	Normal stress (MPa)		
	0.3	0.5	0.7
10^2	 sliding	 sliding + cut-off	 sliding + cut-off
10^{-1}	 sliding + cut-off	 sliding + cut-off	 cut-off
10^0	 sliding + cut-off	 sliding + cut-off	 cut-off
10^1	 sliding + cut-off	 cut-off	 cut-off

六、心得與建議

本屆亞洲岩石力學研討會收錄的論文篇數達329篇，研討會主題旨在突顯岩石力學在解決全球暖化及新能源開發議題所扮演的角色，包括了二氧化碳捕獲與封存、地下核能電廠、核廢料深層處置與地熱發電等議題，另外，對於邊坡災害及地震引致大地工程災害等課題亦持續關注。茲將本屆岩石力學研討會的參與心得與建議綜整如下列幾點：

6.1 心得

(1) 能源相關議題之研究課題仍為主流

因應全球暖化與氣候變遷的影響，聯合國跨政府氣候變遷小組(IPCC)於2014年11月2日發表的最終報告已明確指出氣候變遷幾的肇因乎可以完全歸咎於人類，世界各國必須在2100年前將溫室氣體排放減至零，才能抑制氣候變遷對地球環境的影響。解決此一問題的方案之一即是二氧化碳CO₂捕獲與封存。在CO₂封存過程中，如何避免注入壓力過大引致岩體破壞及掌握CO₂的臨界變化，是近年岩石力學領域重要的關鍵議題，惟其需掌握的知識與資訊不單是力學領域，是含括力學(固力、流力與熱力)、物理與化學等相關領域的整合，由此足以顯現基礎學科能力及資訊整合能力在處理未來能源議題的重要性。

(2) 非連續變形分析方法(DDA)的重要

大地工程在處理異質異向性材料及複雜幾何邊界的工程實務問題時，常需透過數值分析方法以合理的數值模型及參數，藉計算機卓越的運算能力探討工程可能的破壞肇因與尋求可能的解決方案，以致數值分析在大地工程領域一直扮演重要的角色。自1984年石根華博士提出非連續變形分析方法(DDA)後，由於DDA能提供不規則幾何形狀之元素建模及有效率的運算模式，在岩石力學領域一直被廣為採用。近年來，以圓形顆粒元素為建模基礎的離散元素分析(Discrete Element Method, DEM)在岩石微觀力學機制、邊坡滑動與落石等問題之技術應用已趨成熟，惟圓形顆粒模型與真實岩石不規則之幾何外觀仍存在差異，而DDA分析方法在元素幾何構形上能彌補上述差異所造成的可能影響，因而在本屆研討會中特別開設了短期課程與討論小組進行研討與交流。

(3) 岩石動態力學領域的持續發展

近二十年來已有相當多的岩石力學研究學者持續投入岩石動力學領域的研究，尤以中國大陸及其海外學者最為顯著，與之有關的工程應用包括了岩石爆破(岩石邊坡危岩處理、隧道開炸及採礦作業等)與岩體內部之應力波傳遞(地震波或爆震波在岩體中的波傳行為)。除了上述民生工業與地震工程的探討應用外，在軍事上，位處天然掩體之軍事單元在地表受炸彈攻擊時，掩體的反應及震波對軍事單元的影響亦是岩石動力學所延伸應用的課題。

6.2 建議

(1) 根據行政院環境保護署國家溫室氣體減量法規資訊網公佈之資訊，其引用國際能源

總署IEA/OECD於2013年10月出版之燃料燃燒二氧化碳排放量統計資料，顯示我國2011年能源使用CO₂排放總量為264.66百萬公噸，占全球排放總量的0.84%，全球排名第23位，每人平均排放量為11.31公噸，全球排名第21位(亞洲排名第12位)。我國目前的能源政策中，火力發電提供的電力仍屬大宗，其與二氧化碳排放息息相關，如何透過二氧化碳捕獲與封存以抑制二氧化碳持續排入大氣層，實有需要持續的研究人力與經費投入，並且是跨領域的團隊合作方式進行。

- (2) 能獲得此次出席國際會議之機會，除感謝科技部核予經費支援外，亦感謝本人所屬國防大學理工學院各級長官在行政程序上給予的協助與指導。透過此次國際學術研討會的參與，除能掌握國際間在岩石力學相關課題的研究發展外，亦能將最新的資訊於課堂時傳遞，收獲良多，建議未來在教師參與國際學術交流事務方面，能持續給予行政與經費上的支持。