

出國報告審核表

出國報告名稱：高放射性廢棄物設施觀摩與討論會議

出國人姓名 <small>(2人以上，以1人為代表)</small>	職稱	服務單位
陳臆涵	技術規劃專員	台灣電力公司核能後端營運處

出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input checked="" type="checkbox"/> 其他 <u>國際會議</u> (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)
------	---

出國期間： 106年10月8日至106年10月16日 報告繳交日期： 106年11月23日

出國人員	計畫主辦	審核項目
自我審核	機關審核	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得及建議事項」)
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3.無抄襲相關資料
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4.內容充實完備.
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5.建議具參考價值
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6.送本機關參考或研辦
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.送上級機關參考
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8.退回補正，原因：
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 不符原核定出國計畫
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) 引用相關資料未註明資料來源
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) 電子檔案未依格式辦理
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 於本機關業務會報提出報告
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 其他 _____
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.其他處理意見及方式：

報告人




單位主管



主管處主管



總經理

副總經理

(2/4)

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「公務出國報告資訊網」為原則。




行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：高放射性廢棄物設施觀摩與討論會議

頁數 29 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳臆涵/02-2365-7210#2235

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

陳臆涵/台灣電力公司/核能後端營運處/技術規劃專員/02-2365-7210#2235

李彥宏/台灣電力公司/核能後端營運處/地質調查專員/02-2365-7210#2241

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：106.10.8~106.10.16

出國地區：加拿大

報告日期：106.11.23

分類號/目

關鍵詞：放射性廢棄物、最終處置計畫、用過核子燃料

內容摘要：

DECOVALEX-2019 計畫為期 4 年(2016-2019)，共有 7 項研究項目，研究內容含括實驗室的顯微鏡觀察到等比例的現地實驗。計畫預定每半年召開一次會議，讓研究團隊進行比較、相互驗證，本次研討會為此計畫的第 4 次會議，由加拿大核能安全委員會舉辦，包含 3 天技術討論及 1 天技術參訪。技術研討會在加拿大金士頓召開，並安排赴霍霍港的長期低放射性廢棄物管理設施進行技術參訪。

台電公司於 2016 年加入計畫，目前臺灣研究團隊參與 Task A、B 及 D 等 3 項研究，Task A 研究氣體在緩衝材料中遷移行為，Task B 則是研究泥岩中斷層受水引發滑動之行為，最後 Task D 進行整體工程障壁水-力及熱-水-力相互影響之耦合模擬，各研究與處置場安全評估息息相關。

第 4 次會議已達本計畫進展的一半，各研究團隊皆已依各自可量的因素進行模擬並得到結果，目前正進行比較及討論，以精進各自的模擬方式，臺灣研究團隊實際參與其中，讓國內的技術能力接受國際研究團隊的考驗，有助於國內技術的進步。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

出國報告(出國類別：開會)

高放射性廢棄物設施觀摩與 討論會議

服務機關：台灣電力公司

核能後端營運處

姓名職稱：陳臆涵 技術規劃專員

李彥宏 地質調查專員

派赴國家：加拿大

出國期間：106年10月8日~106年10月16日

報告日期：106年11月23日

摘要

DECOVALEX-2019 計畫為期 4 年(2016-2019)，共有 7 項研究項目，研究內容包括實驗室的顯微鏡觀察到等比例的現地實驗。計畫預定每半年召開一次會議，讓研究團隊進行比較、相互驗證，本次研討會為此計畫的第 4 次會議，由加拿大核能安全委員會舉辦，包含 3 天技術討論及 1 天技術參訪。技術研討會在加拿大金士頓召開，並安排赴霍霍港的長期低放射性廢棄物管理設施進行技術參訪。

台電公司於 2016 年加入計畫，目前臺灣研究團隊參與 Task A、B 及 D 等 3 項研究，Task A 研究氣體在緩衝材料中遷移行為，Task B 則是研究泥岩中斷層受水引發滑動之行為，最後 Task D 進行整體工程障壁水-力及熱-水-力相互影響之耦合模擬，各研究與處置場安全評估息息相關。

第 4 次會議已達本計畫進展的一半，各研究團隊皆已依各自可量的因素進行模擬並得到結果，目前正進行比較及討論，以精進各自的模擬方式，臺灣研究團隊實際參與其中，讓國內的技術能力接受國際研究團隊的考驗，有助於國內技術的進步。

目錄

摘要.....	i
目錄.....	ii
圖目錄.....	iii
目的.....	1
壹、 過程.....	2
貳、 工作內容	3
一、 技術研討會	3
(一) 加拿大核能安全委員會地質處置相關研究.....	5
(二) Task A：平流氣體於低滲透材料之模擬	7
(三) Task B：泥岩中斷層滑動模擬	13
(四) Task D：膨潤土工程障壁的 HM 與 THM 耦合研究.....	17
(五) 專案管理會議.....	23
二、 技術參訪	25
參、 心得.....	28
肆、 建議.....	29
伍、 附件：會議議程	I

圖目錄

圖 1 本次公出行程於加拿大的相對位置圖.....	2
圖 2 加拿大地質處置位置圖.....	6
圖 3 CNCS 研究項目	6
圖 4 Stage 1A 實驗裝置圖.....	9
圖 5 壓力感應器分布圖.....	9
圖 6 Stage 2 實驗裝置圖.....	10
圖 7 各研究團隊所使用之模式及方法.....	10
圖 8 研究規劃時程.....	11
圖 9 膨潤土中氣體壓力及注入流率之實驗數據.....	11
圖 10 膨潤土中氣體壓力各團隊模擬結果.....	12
圖 11 膨潤土中孔隙水壓力各團隊模擬結果.....	12
圖 12 實驗示意圖.....	14
圖 13 高壓脈衝探測裝置.....	14
圖 14 研究規劃時程.....	15
圖 15 模擬模型.....	15
圖 16 注水曲線.....	15
圖 17 次要斷層的實際量測結果.....	16
圖 18 各研究團隊模擬結果.....	16
圖 19 EB 試驗示意圖	18
圖 20 EB 試驗現地照片	19
圖 21 FEBEX 試驗示意圖.....	19
圖 22 FEBEX 試驗現地照片	20
圖 23 各研究團隊所使用之模式及方法.....	20
圖 24 TaskD 研究規劃時程	21
圖 25 NCU 膨潤土塊壓力模擬結果	21
圖 26 膨潤土塊壓力與實驗數據比較圖.....	22
圖 27 Decovalex-2019 歷次開會地點	23
圖 28 會議團體照.....	24
圖 29 PHAI 專案辦公室外團體照	26
圖 30 廢棄物掩埋設計.....	26
圖 31 現場施工圖.....	27
圖 32 現場施工圖.....	27

目的

大型國際合作計畫 DECOVALEX(Development of Coupled models and their VALidation against Experiments)成立已超過 20 年，從 1992 年瑞典核能檢察署 (Swedish Nuclear Power Inspectorate, SKI) 發起後，目前已邁入第 7 期 (DECOVALEX-2019)，主要目的係探討熱力、水力、力學及化學 (thermal-hydrological-mechanical-chemical, THMC) 4 項因子對高放射性廢棄物最終處置場的影響、發展相關模擬模式並利用現地的實驗數據進行驗證。

DECOVALEX-2019 計畫為期 4 年(2016-2019)，共有 7 項研究項目，研究內容包括實驗室的顯微鏡觀察到等比例的現地實驗，目前共有 12 國參與。計畫預定每半年召開一次會議，讓研究團隊進行比較、相互驗證，本次研討會為此計畫的第 4 次會議，由加拿大核能安全委員會舉辦，包含 3 天技術討論及 1 天技術參訪。

台電公司於 2016 年加入計畫，目前臺灣研究團隊參與 Task A、B 及 D 等項目，每半年定期出席會議，與各國專家進行技術討論及成果交流，有助於國內技術與國際接軌，同時與各國專家保持聯繫、進行資訊交換。

壹、過程

自 106 年 10 月 8 日出發，迄 10 月 16 日返國(共計 9 天)，參加由加拿大核能安全委員會(Canadian Nuclear Safety Commission, CNSC)舉辦之 DECOVALEX-2019 第 4 次技術研討會並參訪位於霍霍港之長期低放射性廢棄物管理設施，其在加拿大的相對位置詳圖 1。詳細訪問行程如下：

日期	地點與行程	工作內容
10 月 8 日(日)	臺北→多倫多 →金士頓	往程
10 月 9 日(一)		
10 月 10 日(二)	金士頓	參加技術研討會
10 月 11 日(三)		
10 月 12 日(四)		
10 月 13 日(五)		
10 月 13 日(五)	金士頓→霍霍港	參訪長期低放射性廢棄物管理設施
10 月 14 日(六)	霍霍港→多倫多 →臺北	返程
10 月 15 日(日)		
10 月 16 日(一)		



圖 1 本次公出行程於加拿大的相對位置圖

貳、工作內容

一、技術研討會

DECOVALEX 為 DEvelopment of Coupled models and their VALidation against Experiments 的縮寫，成立於 1992 年，主要探討熱力、水力、力學及化學 4 項因子對高放射性廢棄物最終處置場的影響，有 5 大目標：(1)發展及測試熱水力化耦合模型的模擬及其演算法；(2)提升對熱水力化作用在地球科學及工程領域的瞭解；(3)進行模擬結果與現地實驗數據的比較；(4)設計實驗去支援模擬程式的發展及(5)將熱水力化耦合模型運用於最終處置場的功能與安全評估。

DECOVALEX-2019 計畫共有 5 個核心研究項目(Task A-E)及 2 個支援型研究項目(Task F-G)如下：

Task A : **ENGINEER** — 模擬平流氣體在低滲透率物質流動情形。

Task B : **Fault Slip Test** — 模擬黏土性母岩(argillaceous rock)中斷層受誘發的滑動情形。

Task C : **GREET** — 工程障壁在地下水回填處置場時水力化及生物作用情形。

Task D : **INBEB** — 水-力與熱-水-力在工程障壁內的交互作用。

Task E : **Upscaling Heater Tests** — 利用小規模實驗室試驗結果去模擬全尺寸模型。

Task F : **FINITO** — 在緻密岩體中液包體的移動情形。

Task G : **EDZ Evolution** — 瞭解最終處置場在各階段開挖擾動帶對導水率及滲透率的影響。

臺灣於 2016 年加入 DECOVALEX 計畫，並參與 Task A、B 及 D 等 3 個研究項目，以驗證臺灣研究團隊之模擬模式。

DECOVALEX 計畫每半年召開一次會議，由各贊助單位輪流舉辦，本次是由加拿大核能安全委員會召開第 4 次會議，包含 3 天的技術研討會及 1 天的技術參訪，出席單位有美國勞倫斯柏克萊國家實驗室(Lawrence Berkeley

National Laboratory, LBNL)及聖地亞國家實驗室(Sandia National Laboratory)、法國國家放射性廢料管理局(French National Agency for Radioactive Waste Management, ANDRA)、瑞士核能管制機關(Swiss Nuclear Safety Inspectorate, ENSI)、瑞典輻射安全局(The Swedish Radiation Safety Authority, SSM)、加拿大放射性廢棄物管理機構(Nuclear Waste Management Organization, NWMO)、日本原子能機構(Japan Atomic energy Agency, JAEA)、韓國原子能研究所(Korea Atomic Energy Research Institute, KAERI)及地質與礦產資源研究院(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, KIGAM)、英國地質調查所(British Geological Survey, BGS)、德國聯邦地球科學與自然資源研究所(Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, BGR)、捷克放射性廢棄物最終處置場管理局(Radioactive Waste Repository Authority, SÚRAO)與台灣電力公司、核能研究所、中央大學等。

會議議程如附件。會議通常會邀請舉辦單位之資深人員分享其國內現況，本次會議邀請人員為加拿大 CNSC 技術支援分部之副總經理兼首席科學官(A/Vice-President and Chief Science Officer) Peter Elder 先生說明其單位之地質處置相關研究項目。

(一) 加拿大核能安全委員會地質處置相關研究

加拿大核能安全委員會 CNSC 為加拿大核能安全管制單位，有 3 大主要任務包括(1)監管加拿大境內所有核能及放射性物質，以保護民眾健康及環境安全；(2)執行核能和平使用之國際承諾；(3)向民眾公開客觀的科學、技術及監管資訊。

在加拿大除用過核子燃料外，長半衰期低中放射性廢棄物也須進行地質處置。目前加拿大已選定安大略省的 Bruce Site in Tiverton 做為長半衰期中低放射性廢棄物地質處置之場址，另外，現正由加拿大 NWMO 進行高放之選址作業，目前有 6 大區域在進行相關研究作業，包括 Blind River, Elliot Lake and Area、Hornepayne and Area、Huron-Kinloss、Ignace and Area、Manitouwadge and Area 及 South Bruce(相對位置如圖 2 所示)。此外，經詢問 NWMO 的 Ruiping Guo 先生有關加拿大的選址回饋機制，表示並無相關措施，加拿大地廣人稀，有許多社區(communities)並無太多就業機會，當地居民預期處置場設置後，可為當地提供相當多就業機會，故有很多社區表達意願。

CNSC 從 1970 年代後期開始進行地質處置相關研究，主要目的有 3 項包含(1)建立獨立專業知識能力；(2)增加 CNSC 的可信度及(3)對申照的決定及建議提供堅定的科學基礎。目前主要的研究項目有 THMC 行為模擬、天然類比、古水文地質及安全評估。整體研究連結如圖 3 所示，其冰河模擬已應用於中低放處置場安全評估中。

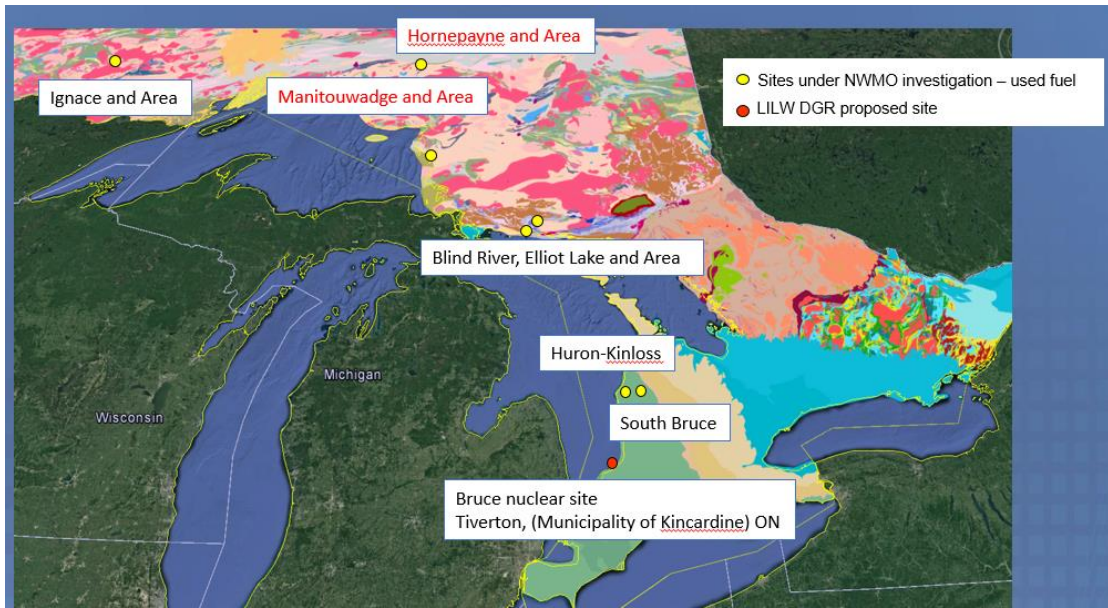


圖 2 加拿大地質處置位置圖

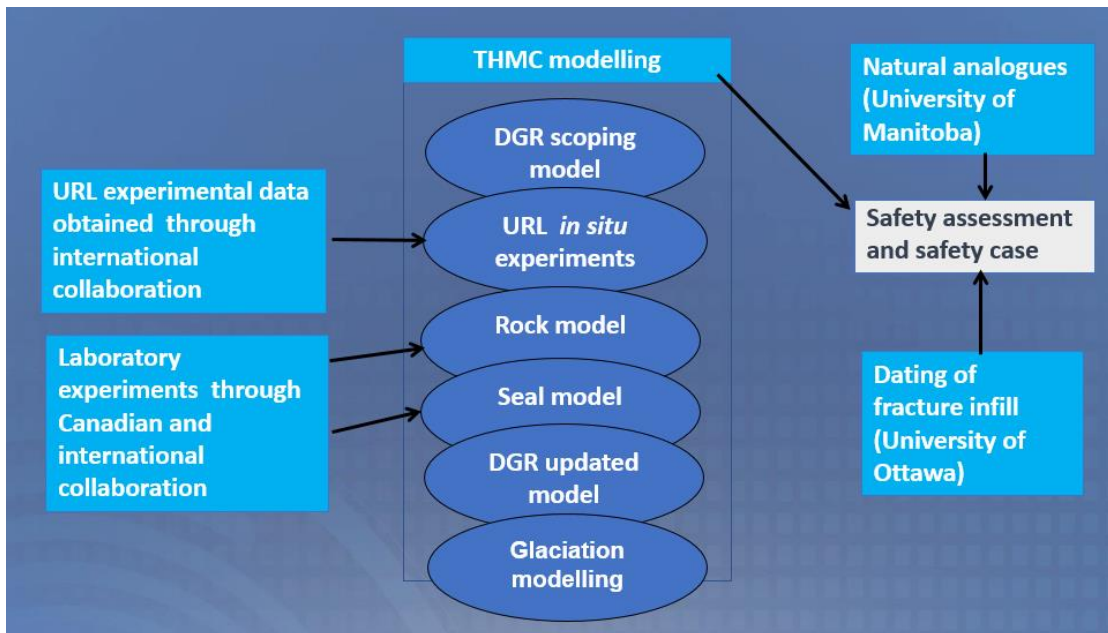


圖 3 CNCS 研究項目

(二) Task A：平流氣體於低滲透材料之模擬

Task A 的全名為 modElliNg Gas INjection ExpERiments (ENGINEER)，由英國 BGS 的 Jon Harrington 博士對此研究項目進行整體說明。在放射性廢棄物處置場中，金屬廢棄物罐腐蝕、放射性廢棄物衰變、水經由輻射分解這 3 種作用均會產生氣體，氣體逐漸累積至臨界壓力後，會破壞緩衝材料，對處置系統的安全性有很大的影響，此研究主要目的為探討在緻密膨潤土及自然泥岩物質中，控制氣體平流移動的機制和作用。其內容包含在實驗室進行的小規模實驗及在現地進行的大型實驗，分為 3 個階段如下：

1. 第 1 階段為在實驗室進行編號為 MX80-D 的壓密膨潤土進氣實驗，實驗裝置如圖 4，腔體左側為氣體注入端，氣體洩漏偵測感應器位於腔體右側，壓力感應器則分散於腔體各處，如圖 5 所示，此階段又下分為 2 個小階段，Stage 1A：固定體積之飽和膨潤土 1 維進氣實驗；Stage 1B：相同邊界應力之飽和膨潤土 1 維進氣實驗。
2. 第 2 階段也是在實驗室進行實驗，量測球面流(spherical flow)在定容邊界壓力下通過飽和膨潤土的情形，利用 2 種不同膨潤土(Mx80-10 及 Mx80-A)進行試驗，實驗裝置如圖 6，目前 Task A 各研究團隊皆在此階段進行模擬驗證。
3. 第 3 階段為在現地進行的大規模注氣試驗 Lasgit (Large scale gas injection test)，共進行 4 種不同試驗。

參加此研究項目的單位有德國 BGR/UFZ、加拿大 CNSC、韓國 KAERI、美國 LBNL、美國 SNL、臺灣中央大學 NCU、英國 Quintessa/RWM 及西班牙/法國 UPC/Andra，各研究團隊藉由英國 BGS 所提供之實驗數據設定模式條件，以不同之模型及方法進行

模擬(如圖 7)，將各階段的模擬結果與實驗數據加以比較，時程規劃如圖 8，本次研討會各團隊將展示 Stage 1A 之模擬成果並進行討論。

Stage 1A 各時間點之實驗條件如下所述：

1. 0 至 39 天，進行膨潤土水合作用，膨潤土壓力達到 1.0MPa，並維持此穩定值，而孔隙水壓亦為 1.0MPa，膨潤土與孔隙水達到壓力平衡。
2. 39 至 63 天，氮氣以固定流率加壓注入膨潤土，進氣端壓力達到 5MPa 後，降低固定流率。大約第 63 天時，氣體洩漏偵測感應器偵測到外洩氣體，此現象稱為氣體突破。
3. 63 至 71 天，第 63 天時發生氣體突破後，膨潤土的孔隙水壓突然上升，進氣端持續注入固定流率的氮氣，於第 71 天停止注入氮氣，此時進氣端壓力逐漸下降並趨近穩定狀態。
4. 71 至 200 天，第 71 天停止注入氮氣後，膨潤土中仍持續有新的氣體通道產生，氮氣經由氣體通道洩漏，而進氣壓力持續下降。

膨潤土中各點氣體壓力及注入流率之實驗數據如圖 9，各研究團隊水流模組模擬膨潤土中氣體壓力結果如圖 10，水流模組模擬膨潤土中孔隙水壓力結果如圖 11，研討會中針對使用 2 維或 3 維幾何模型的優缺點、參數和數值模型的連結性、實驗數據與模擬結果的對應性等議題進行討論。

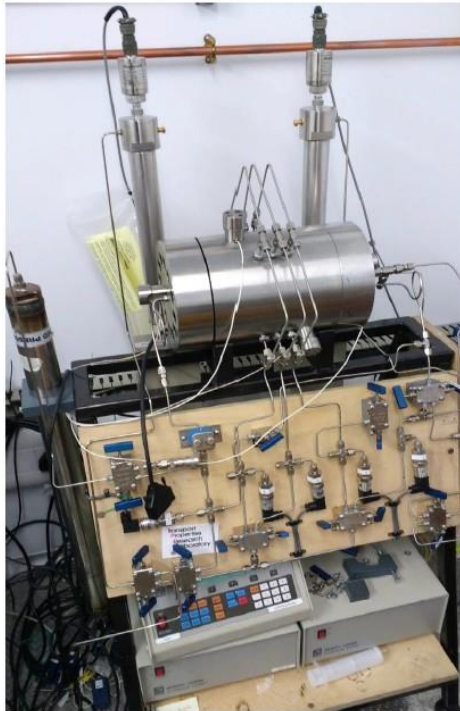


圖 4 Stage 1A 實驗裝置圖

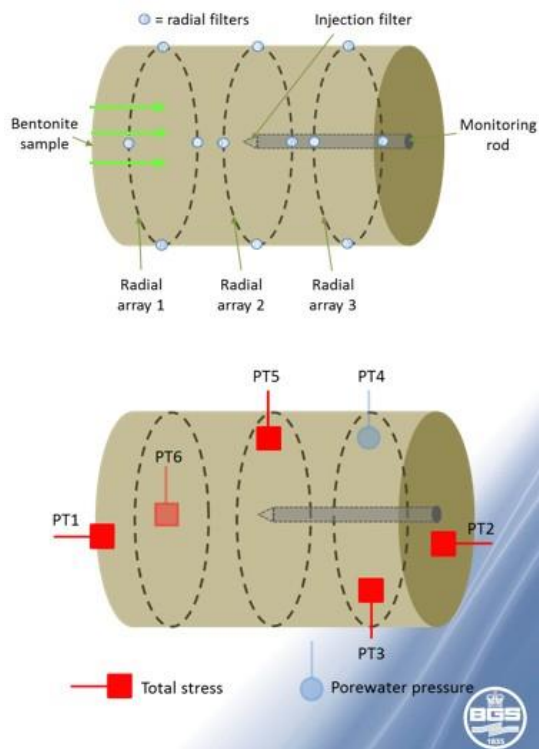


圖 5 壓力感應器分布圖

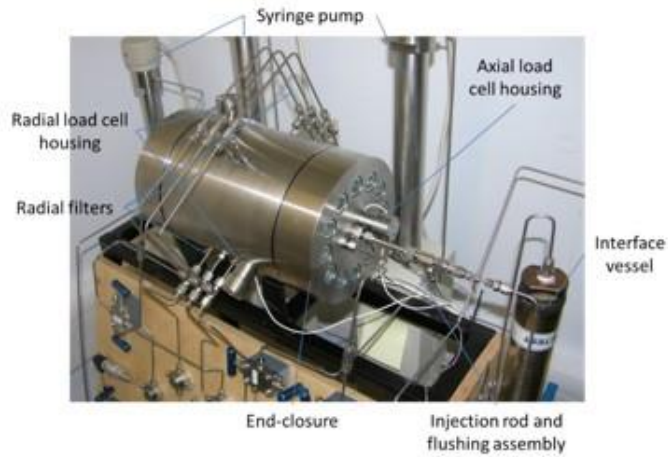


圖 6 Stage 2 實驗裝置圖

Team	Formulation	Mechanical deformation	Software	Test geometry	FITTING parameters
BGR/UFZ	multiphase flow model	elasto-plasticity	OpenGeoSys	2D axisym.	Intrinsic permeability
CNSC	two-phase flow model	elasticity	COMSOL Multiphysics	2D axisym.3D	Air entry value
KAERI	two-phase flow model	damage	TOUGHMP-FLAC3D	3D	Damage parameters
LBNL	multiphase flow model	elasticity	TOUGH2-FLAC3D	3D	Intrinsic permeability, moisture swelling coeff., stress-perm function
	multiphase flow model	discrete fractures	TOUGH-RBSN	2D plane	Strength and elastic parameter of fractures
SNL	chaotic model	fractures	no specific code	0D	NA
NCU	multiphase flow model	elasticity	in-house	2D plane	NA
Quintessa/RWM	two-phase flow (gas, water paths)	elasticity	QPAC	1D	Capillary comp., # of capillaries per cross-section, swelling pressure
UPC/Andra <small>© NERC All rights reserved</small>	two-phase flow	rigid body	CODE_BRIGHT	3D	Gas relative permeability, intrinsic permeability
	embedded permeability	elasticity	CODE_BRIGHT	3D	Embedded permeability parameters

圖 7 各研究團隊所使用之模式及方法

Activity	Spring 2016	Autumn 2016	Spring 2017	Autumn 2017	Spring 2018	Autumn 2018	Spring 2019	Autumn 2019
Stage 0: code development	Green	Green						
Stage 1 A & B: 1D flow (laboratory)		Green	Green	Dark Green	Grey	Grey	Grey	
Stage 2 A & B: Spherical flow (laboratory)			Grey	Green	Green	Grey	Grey	
Interim reporting					Red			
Stage 3A: Gas flow in natural clay					Green	Green	Grey	
Stage 3B: Gas flow in pelletised bentonite						Green	Green	
Final Reporting								Red

圖 8 研究規劃時程

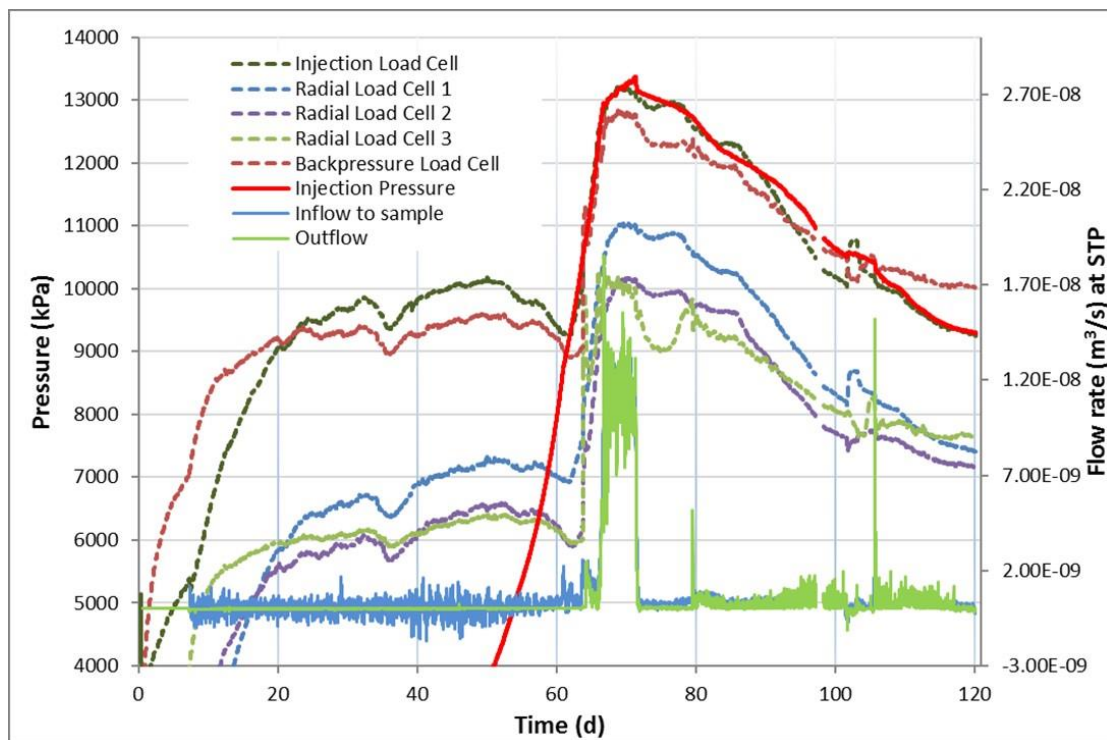


圖 9 膨潤土中氣體壓力及注入流率之實驗數據

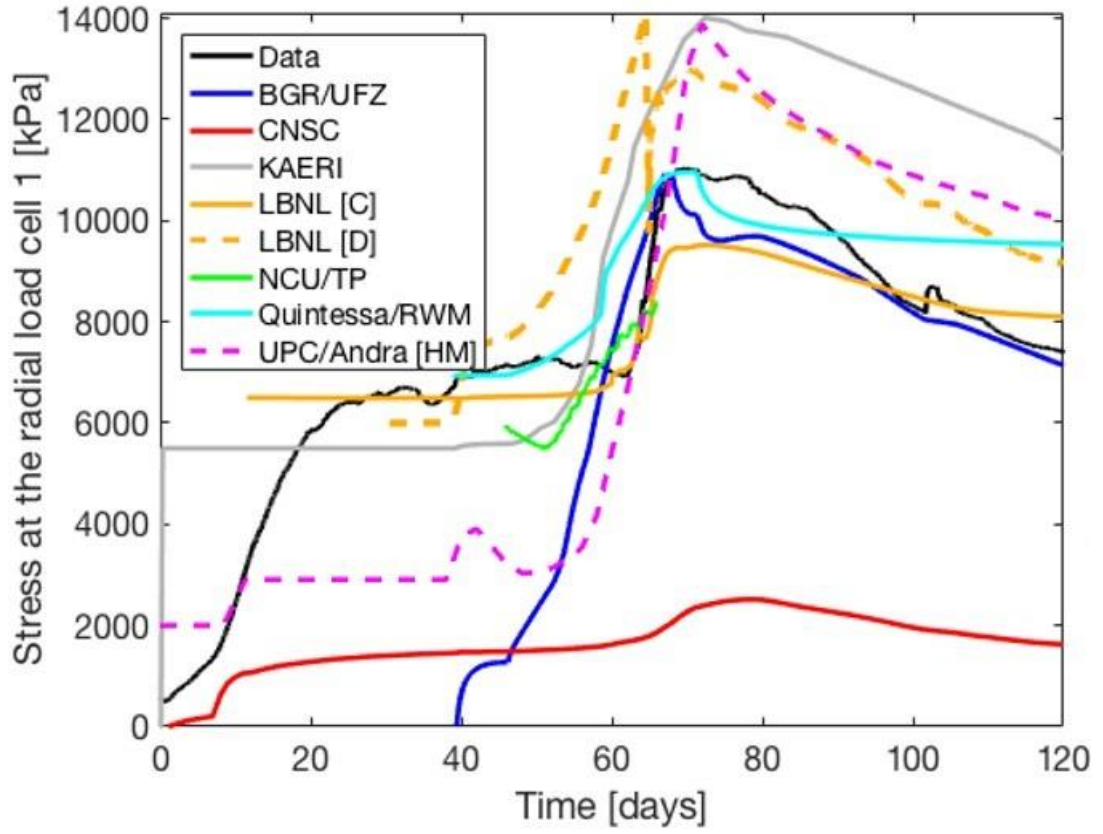


圖 10 膨潤土中氣體壓力各團隊模擬結果

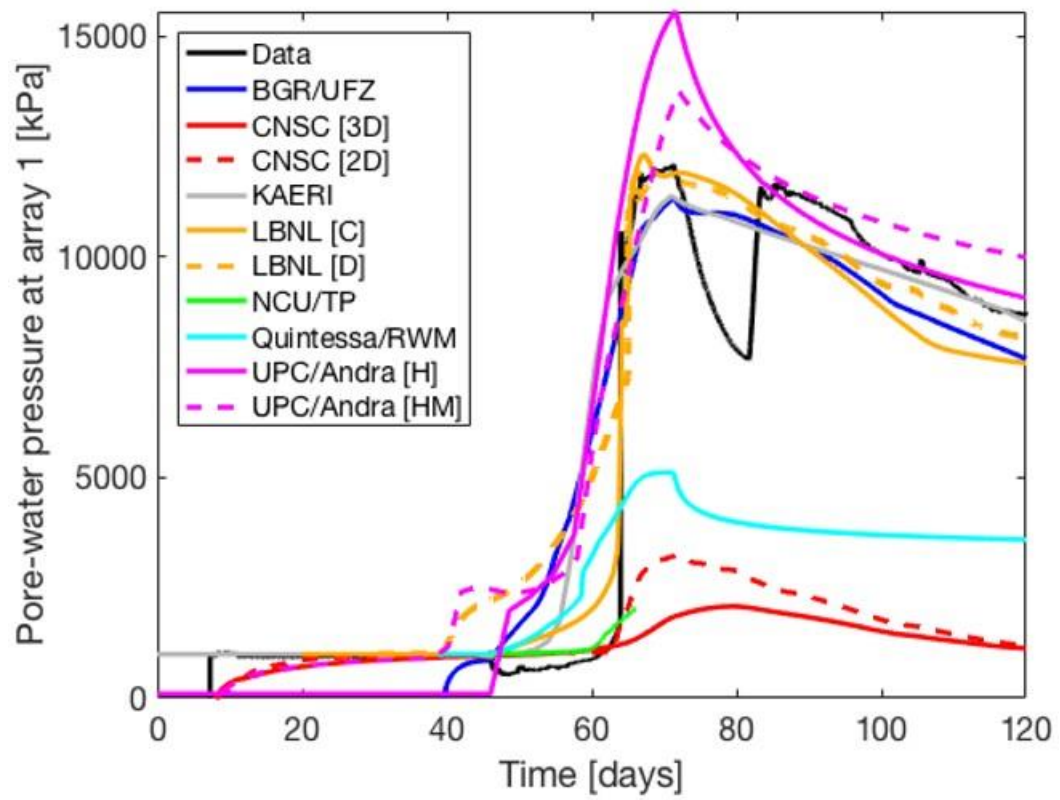


圖 11 膨潤土中孔隙水壓力各團隊模擬結果

(三) Task B：泥岩中斷層滑動模擬

Task B 的完整名稱為 Modelling the induced slip of a fault in argillaceous rock，由美國 LBNL 的 Jonny Rutqvist 博士對此研究項目進行整體說明，實驗地點位於瑞士的 Mont Terri 實驗室，實驗目的主要為探討泥岩中斷層再活化行為，以及周圍泥岩因斷層再活化所造成的剪切位移。實驗示意圖如圖 12 所示，從 Q 點注水，去引發次要斷層及主斷層滑動。主要裝置為高壓脈衝探測裝置(High-Pressure Pulse Probe, HPPP)(如圖 13)，用以偵測液壓變化。同時，安裝奈米地震監測儀，量測斷層滑動時發生之微地震事件。

目前參加此研究項目的單位有德國 BGR/UFZ、加拿大 CNSC、瑞士 ENSI、臺灣核研所 INER、韓國 KIGAM 及美國 LBNL，研究分 3 階段執行，規劃時程如圖 14 所示。

第 1 階段先進行模擬校驗。模擬模型的示意圖如圖 15，給定相同的模型參數(共有 2 種)，假設一條注水曲線(如圖 16)，讓所有研究團隊用各自的方式進行模擬，並與其他研究團隊進行比較，此階段已完成。

第 2 階段進行模擬結果與次要斷層觀測結果的比對。各研究團隊利用於次要斷層的實際量測結果(如圖 17)，去修正第 1 階段的模擬參數，目前正進行此階段。

第 3 階段原預定進行模擬結果與主斷層觀測結果的比對，但因為前述階段各團隊結果差異甚大，例如距離注射點 1.5 公尺位置壓力曲線之各團隊模擬結果如圖 18，可看出各團隊存在不小的差異性，目前正討論後續階段如何進行下去。

	2016				2017				2018				2019																													
	May WS1	June	July	Aug TC1	Sept	Oct	Nov WS2	Dec	Jan	Feb TC2	Mar	Apr WS3	May	June	July	Aug TC3	Sept	Oct WS4	Nov	Dec	Jan	Feb TC4	Mar	Apr WS5	May	June	July TC5	Aug	Sept	Oct WE6	Nov	Dec	Jan TC6	Feb	March	April WS7	May	June	July TC7	Aug	Sept	Nov WS8
Step 1	█				█				█				█				█				█				█																	
Step 2					█				█				█				█																									
Step 3									█				█				█																									
Wrap up Final Report																	█				█																					
Joint Journal Paper																					█				█																	

IR1, IR2 = Delivery of Interim Reports on Steps 1, 2, FR = Final Report, WS1 - 8 = Workshops, TC1 - 7 = Telecoms halfway between workshops

圖 14 研究規劃時程

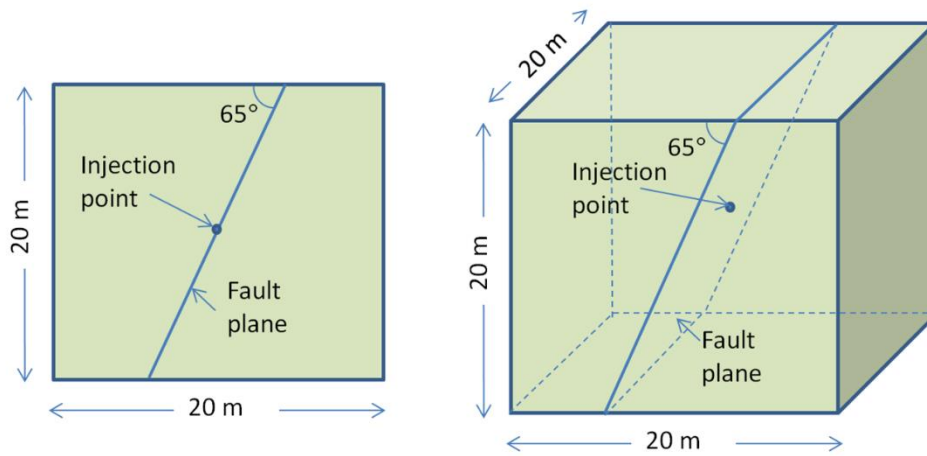


圖 15 模擬模型

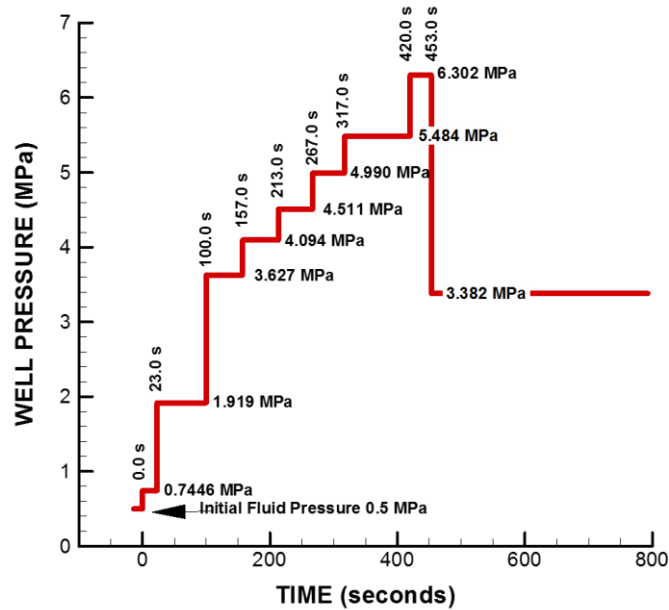


圖 16 注水曲線

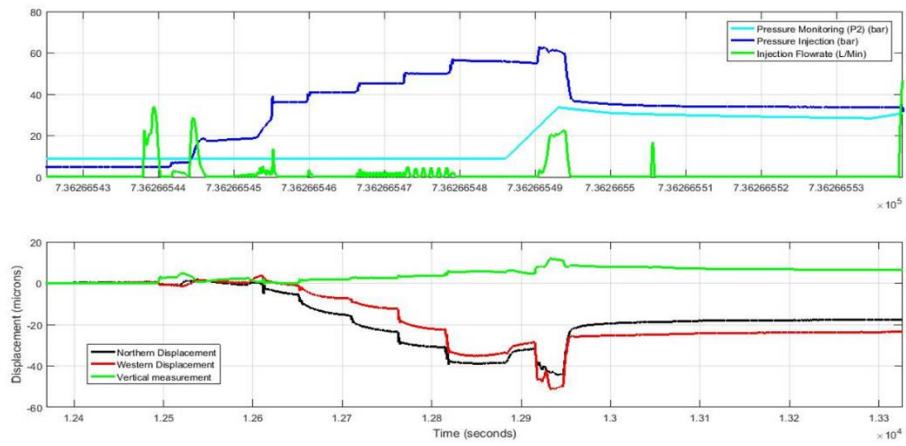


圖 17 次要斷層的實際量測結果

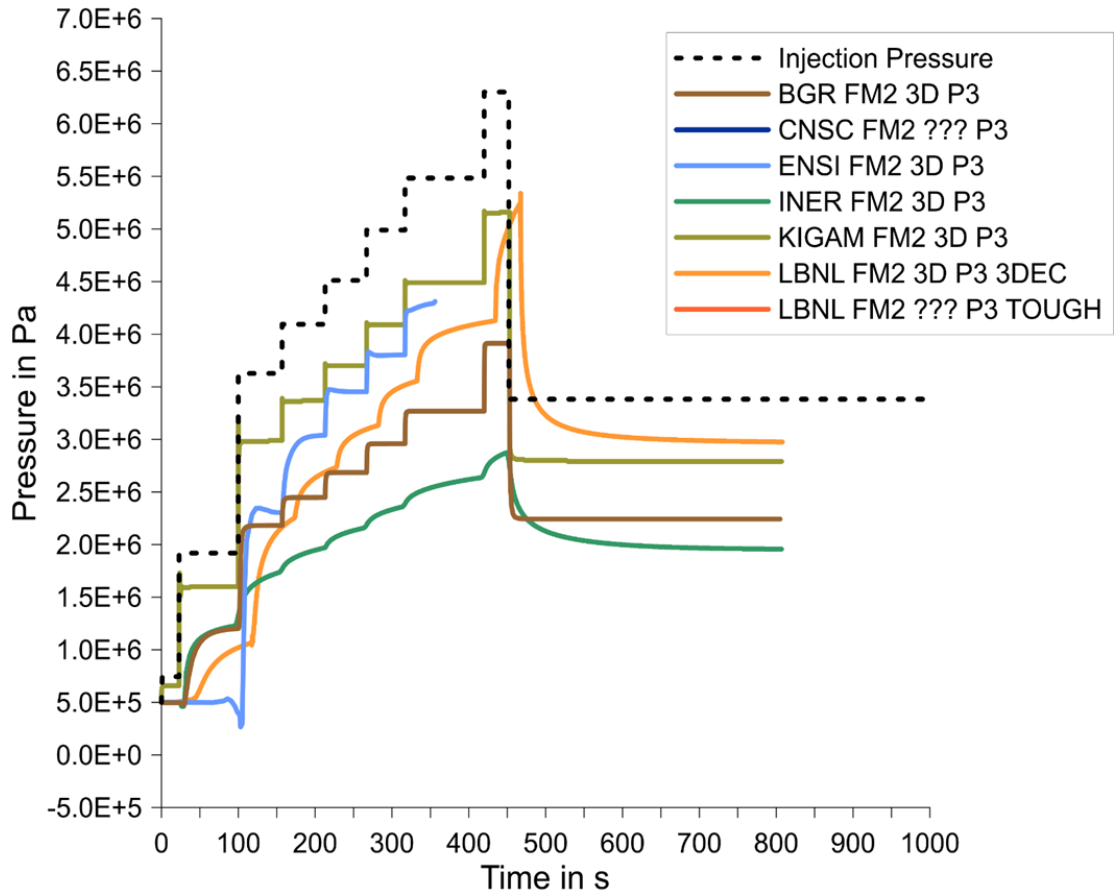


圖 18 各研究團隊模擬結果

(四) Task D：膨潤土工程障壁的 HM 與 THM 耦合研究

Task D 的全名為 HM and THM Interactions in Bentonite Engineered Barriers(INBEB)，由西班牙 Catalonia 理工大學的 Antonio Gens 對此研究項目進行整體說明，本研究議題是由西班牙放射性廢棄物營運公司(Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A., ENRESA)提出。主要目的為瞭解工程障壁均質化的演化機制，以驗證設計是否符合功能目標，並評估均質化作用對長期安全功能的影響，本項為延續性的大型研究計畫，包含 2 項大型現地實驗 EB test 和 FEBEX test，2 項實驗均使用相同的膨潤土塊。

EB 試驗地點為瑞士的 Mont Terri 地下實驗室，母岩為 Opalinus 黏土，利用大型均勻的加熱器，下方放置緻密膨潤土塊，上方填滿膨潤土顆粒，其示意圖如圖 19，現地照片如圖 20。對膨潤土人工注水使其飽和，量測廢棄物罐位移动情形、緩衝材料的相對濕度、孔隙壓及應力等，觀察其水力的交互作用，整個實驗進行了 10.5 年，目前實驗裝置已經拆除。

FEBEX 試驗地點為瑞士的 Grimsel Test Site，母岩為花崗岩，設置可進行溫度控制的加熱器(最高 100°C)，周圍放置緻密膨潤土塊，其示意圖如圖 21，現地照片如圖 22，放入熱源，讓膨潤土自然地飽和，量測工程障壁內的溫度、相對濕度及應力等，以瞭解其熱水力的相互作用，實驗進行了 18 年，於實驗開始後第 5 年，進行第 1 次拆除作業，觀察膨潤土內水分布情形後重新放入，目前已進行最終拆除作用，觀察實驗 18 年後膨潤土內水分布情形。

參加此研究項目的單位有捷克 IGN、日本 JAEA、韓國 KAERI、臺灣中央大學 NCU，各研究團隊藉由現地所提供之實驗數據設定模式條件，以不同之模型及方法進行模擬(如圖 23)，本期計畫之各

階段任務及時程規劃如圖 24，目前進度到 Stage 2，即計算及預測 EB 試驗中工程障壁最後拆除之結果，本次研討會中各團隊展示 Stage1、2 之模擬成果並進行討論，NCU 於研討會簡報之研究成果如圖 25，各團隊模擬結果與實驗數據比較如圖 26，Antonio Gens 先生認為模擬結果不如預期的可能原因有：初始模型建立的錯誤、現地資料缺少、水化跟水力邊界的不確定性、注水期間可能有洩漏情況發生。

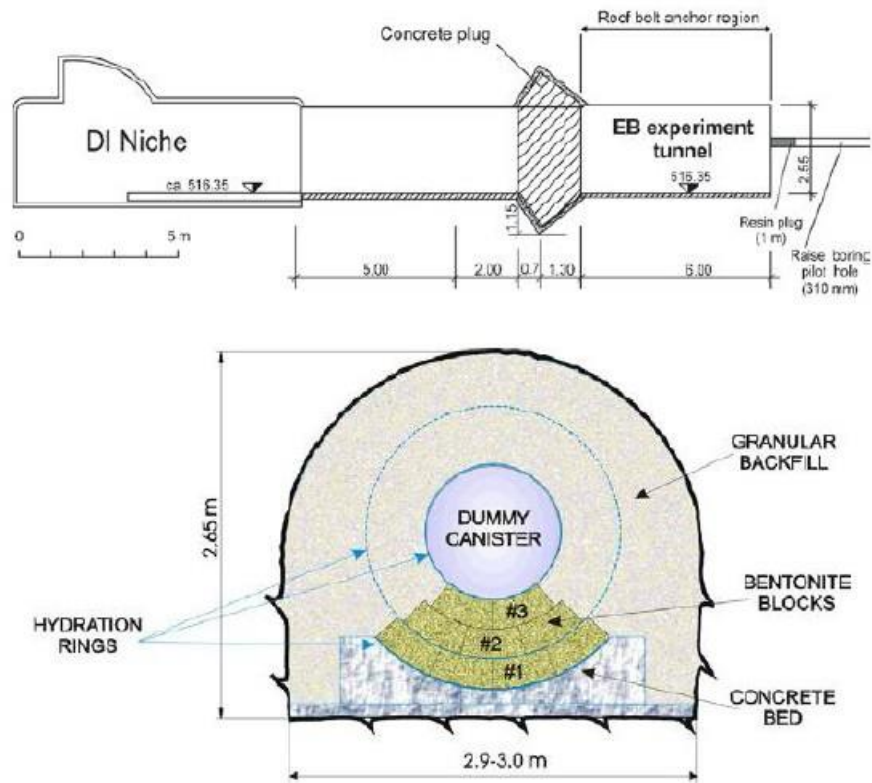


圖 19 EB 試驗示意圖

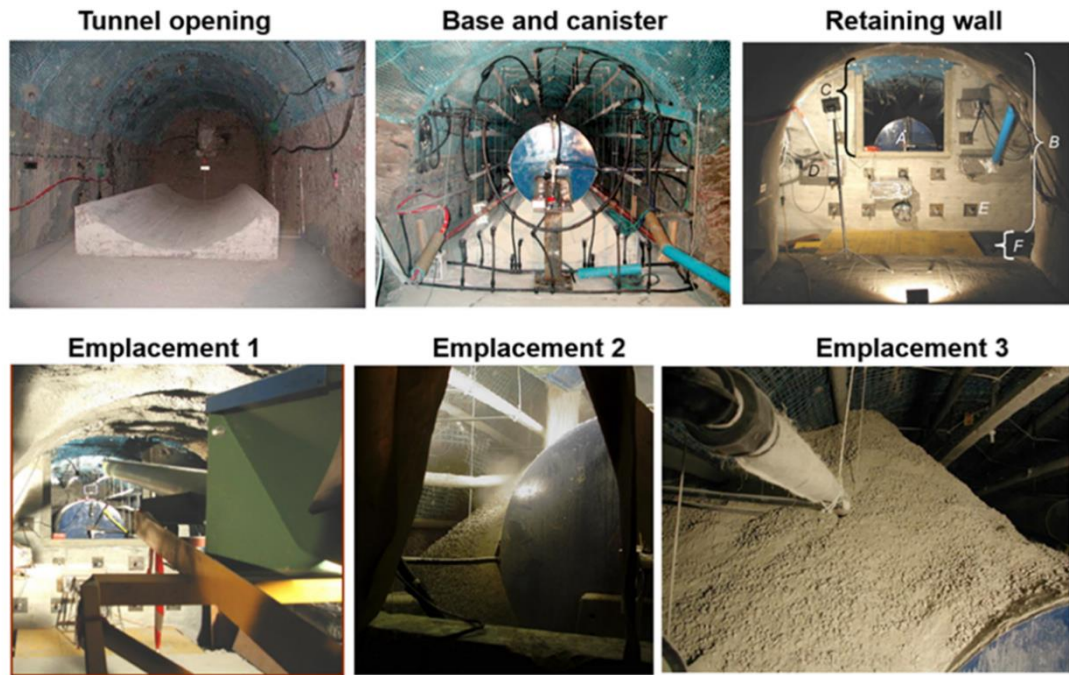


圖 20 EB 試驗現地照片

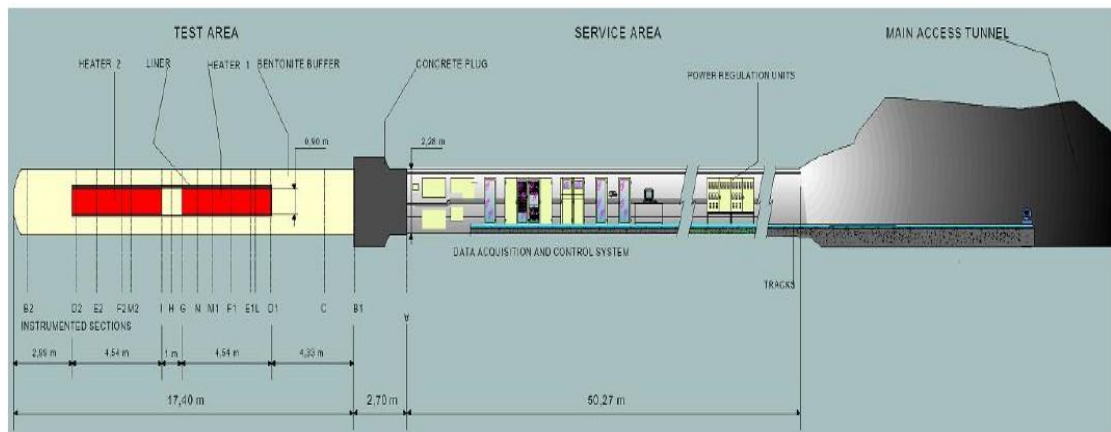


圖 21 FEBEX 試驗示意圖



圖 22 FEBEX 試驗現地照片

Team	Formulation	Code/Model	Retention curve	Relative permeability	Mechanical const. law
IGN	Richards' equation + vapour+mechancis	COMSOL 2D/3D	Van Genuchten	S_e^n	Non linear elastic + swelling term
JAEA	Unsaturated flow + mechanics	THAMES 3D(slice)	Van Genuchten (mod.)	S_e^n	Linear elastic + swelling term
KAERI	Unsaturated flow + mechanics	TOUGH2-MP FLAC 3D	Van Genuchten	S_e^n	BBM + anisotropic elasticity
NCU	Unsaturated flow + mechanics	HGC 4.3/2D	Van Genuchten (mod.)	S_e^n Tabulated	Linear elasticity

圖 23 各研究團隊所使用之模式及方法

- Stage 0: Preparation of the Task (3 months)
- **Stage 1: EB test (9 months)**
 - Modelling of the EB test during hydration (10.5 years) against the data from the monitoring system
- **Stage 2: EB test (9 months)**
 - Computation/prediction of the final state of the barrier against the data from dismantling
- Stage 3: FEBEX test (9 months)
 - Modelling of the FEBEX test during the first 5 years of heating up to and including first dismantling. Check against instrumentation data and first dismantling observations
- Stage 4: FEBEX test (6 months)
 - Modelling of the FEBEX test until the end of the experiment including final dismantling. Check against instrumentation data and final dismantling observations
- Stage 5: Final summing-up and reporting (6 months)

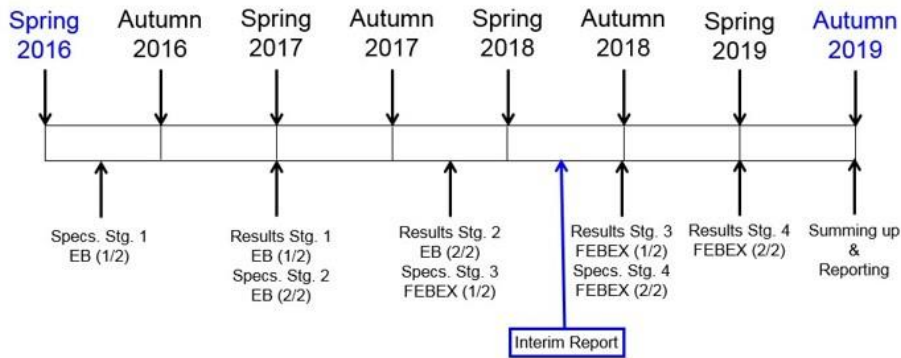


圖 24 TaskD 研究規劃時程

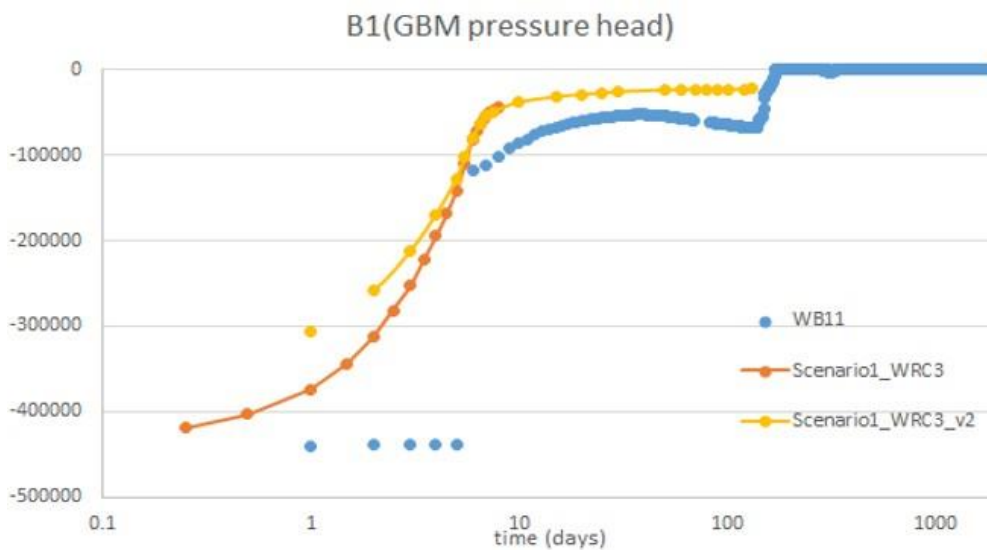


圖 25 NCU 膨潤土塊壓力模擬結果

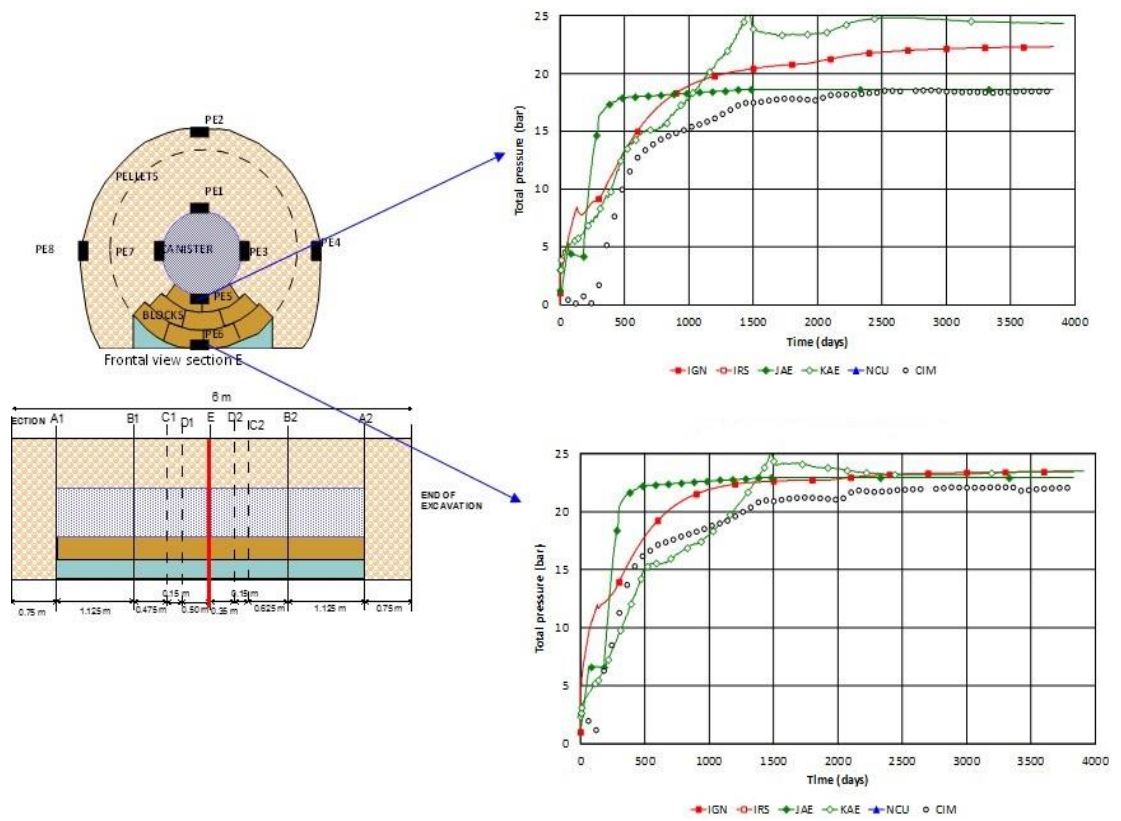


圖 26 膨潤土塊壓力與實驗數據比較圖

(五) 專案管理會議

專案管理會議先由 DECOVALEX 計畫主席 Jens Birkholzer 先生與技術顧問 Alex Bond 先生進行致詞，感謝 DECOVALEX-2019 第 4 次會議主辦單位加拿大 CNSC 及 Peter Button 先生的安排與協助，並感謝出席單位的配合，另，Jens 先生希望所有出席人員針對會議議程安排提出建議，讓未來會議進行更為順暢。

接著由 DECOVALEX-2019 第 5 次會議主辦單位法國 Andra 的 Darius Seyedi 先生進行簡報，首先展示過去 4 次會議地點(如圖 27)，緊接著說明 DECOVALEX-2019 第 5 次會議之相關規劃細節，下次會議時間為 107 年 4 月 24 日至 26 日預定於法國 Nancy 召開，並於 4 月 27 日安排赴 Andra 的 Meuse/Haute-Marne 中心進行技術參訪。

最後，本次會議圓滿落幕，所有與會人員之團體照如圖 28 所示。

5th DECOVALEX Workshop will be held at *Ecole des Mines de Nancy* from 24 to 27 April 2017

- ◆ 24 to 26 April: Workshop at *Ecole des Mines*
- ◆ 27 April: technical visit to Andra's facilities at Meuse/Haute-Marne center



圖 27 Decovalex-2019 歷次開會地點



圖 28 會議團體照

二、技術參訪

技術參訪的地點為霍霍港之長期低放射性廢棄物管理設施(Port Hope long-term waste management facility)，一開始先到 Port Hope Area Initiative(PHAI)專案辦公室聽取簡報說明，並在辦公室門口拍攝團體照(如圖 29)。

加拿大於 1930 到 1980 年代，在霍霍港及鄰近的 Port Granby，進行鐳及鈾的提煉，產生的低放射性廢棄物則就地掩埋在附近多處場址中，至 1970 年代中期，加拿大聯邦政府開始正視這個問題，進行許多研究及調查工作，尋求解決方案。於 2001 年加拿大政府與當地社區簽署協議，開始 PHAI 專案，以處理這些歷史低放射性廢棄物(廢棄物總量：在霍霍港區約有 120 萬立方公尺；在 Port Granby 區約有 45 萬立方公尺)。

PHAI 專案預計建造新的掩埋設施，集中處理過去散布在各處之廢棄物，進行長期監測，並回復過去污染的地區，分為 3 個階段進行，第 1 階段(2001-2008 年)進行環境影響評估；第 1A 階段(2008-2012 年)進行詳細設計並取得建照；第 2 階段(2012-2022 年)進行建造及處理廢棄物；第 3 階段(2022 年後)進行長期監測，預計幾百年(HUNDREDS OF YEARS)，整體預算約 12.8 億加幣。掩埋方式為近地表處置，廢棄物層厚度約 25 公尺上方覆蓋 2.35 公尺的覆土(詳圖 30)，場址選定在 Baulch 公路西側與 401 高速公路南側，目前正施工中(如圖 31 及圖 32)。



圖 29 PHAI 專案辦公室外團體照

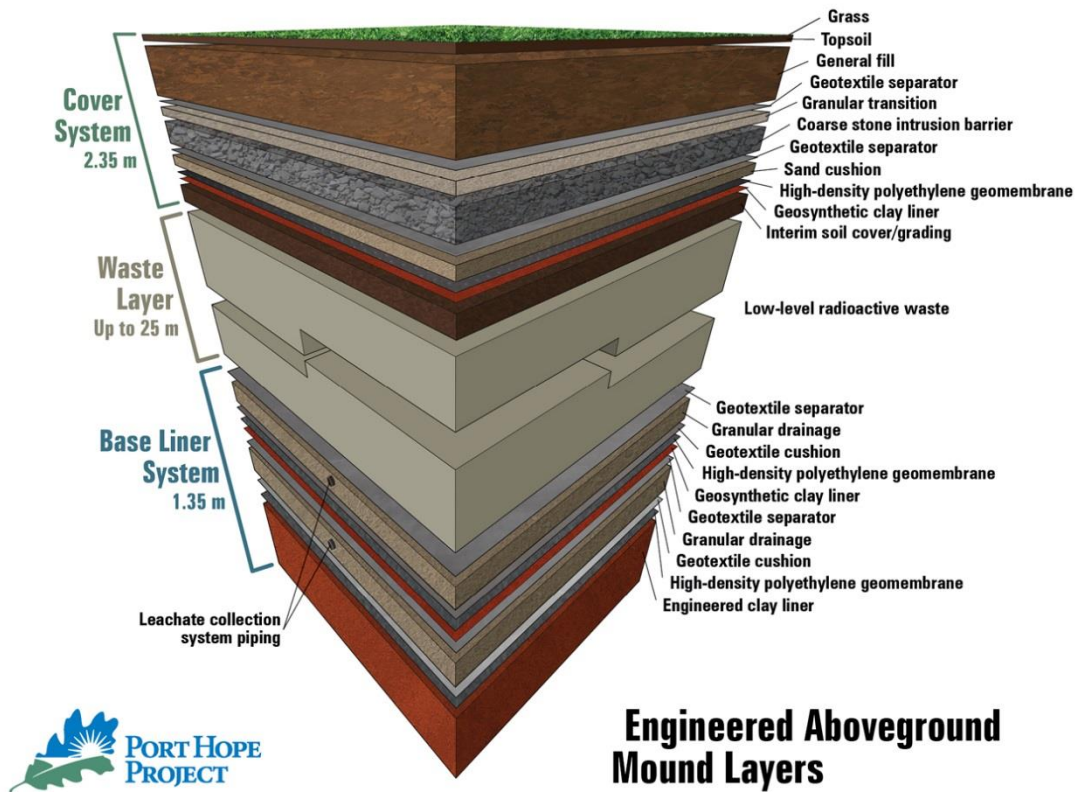


圖 30 廢棄物掩埋設計



圖 31 現場施工圖



圖 32 現場施工圖

參、心得

DECOVALEX-2019 國際合作計畫從 2016 年初開始，於同年 5 月召開第 1 次會議，目前已進行到第 4 次會議，達 DECOVALEX-2019 計畫進程的一半，7 項研究項目也正如火如荼完成各階段性任務，各研究團隊於本次研討會上簡報目前之研究成果並與實驗數據進入實質比較的階段，預計於明年年初提出期中報告。另，於會議最後，由各研究項目的主持人把研究團隊模擬結果進行彙整，說明各團隊比較結果，很直觀地展示出各國差異，雖然很嚴酷，但相信對國內技術發展相當有幫助。

臺灣研究團隊雖然僅參與 DECOVALEX-2019 計畫中的 3 個項目，但其他研究項目亦是國際放射性廢棄物處置上所關切之議題，藉由參加每半年舉辦一次的技术研討會，可獲得其他研究項目之進度及模擬成果，亦可得知世界各國地下實驗室的研究資訊，瞭解國際上最新的進展，同時認識國際上各專責機構、管制單位人員及相關領域專家，有助於我國未來高放射性廢棄物最終處置計畫之推動。

DECOVALEX-2019 研討會中安排之技術參訪，都是與該國的放射性廢棄物相關設施，藉由這難得之機會去實地參訪，對於各國相關報告內陳述的技術、處置概念、現地實驗等描述都有更進一步的體會，透過對現場的認識，可以學習並規劃處置技術發展強化之方向，對未來工作規劃有相當大的助益。

肆、建議

- 一、DECOVALEX 計畫提供一平台，讓我們可以獲得國際上研究成果，建議每次會議皆派員出席，有助於提升國內技術水準，同時可與各國相關研究團隊保持聯繫，進行交流。另，會議亦安排技術參訪行程，讓出席者有實際觀察各國現地實驗的機會。
- 二、DECOVALEX-2019 計畫預定於 2019 年底結束，於 2020 年開始新計畫，雖然國內現在並未有地下實驗室，但綜觀計畫內研究項目，還是存在些小型實驗項目，或許下期計畫國內可以提自己的研究項目，讓各國進行模擬分析。
- 三、另，計畫有非常多國的安全管制機關參與，建議國內安全管制機關也可出席會議，有助於瞭解國際上研究的實際現況，同時也有助於管制機關瞭解執行單位的作為。



伍、附件：會議議程

4th Workshop & Steering Committee Meeting

Kingston, Ontario, Canada
10th October – 13th October

Dress Code: Casual

WiFi:

Summary block agenda shown on final page

10/10/2017 (Tuesday, Day 1)

Room: Bellevue Ballroom

Time	Topic	Speaker
08:30-09:00	Registration	
09:00-09:10	Welcome	Jens Birkholzer
09:10-10:00	Invited talk - “CNSC regulatory research on geological disposal”	Peter Elder (CNSC)
10:00	Coffee available	
Task Introductions		
10:00-10:20	Task A	Jon Harrington
10:20-10:40	Task B	Bastian Graupner / Jonny Rutqvist
10:40-11:00	Task C	Teruki Iwatsuki
11:00-11:20	Task D	Antonio Gens
11:20-11:40	Task E	Darius Seyedi
11:40-12:00	Task F	Hua Shao
12:00-12:20	Task G	Tobias Backers
12:20-13:30	Lunch	

10/10/2017 (Tuesday, Day 1) – Stream 1

Room: Bellevue Ballroom A

Time	Topic	Speaker
Task B : Fault Slip Test		
Modelling the induced slip of a fault in argillaceous rock		
13:30-13:40	Brief Introduction	Bastian Graupner / Jonny Rutqvist
13:40-14:00	Team 1: CNSC	Son Ngyuen
14:00-14:20	Team 2: ENSI	Luca Urpi
14:20-14:40	Team 3: INER	Wenjie Shiu
14:40-15:00	Break	
15:00-15:20	Team 4: KIGAM	Taehyun Kim
15:20-15:40	Team 5: LBNL	Jonny Rutqvist
15:40-16:00	Team 6: BGR/UFZ	Hua Shao
16:00-16:20	Synthesis	Bastian Graupner / Jonny Rutqvist
16:20-17:20	Task B Discussion	Bastian Graupner / Jonny Rutqvist



10/10/2017 (Tuesday PM, Day 1) – Stream 2

Room: Bellevue Ballroom B

Time	Topic	Speaker
Task D : INBEB		
HM and THM Interactions in Bentonite Engineered Barriers		
13:30-13:40	Brief Introduction	Antonio Gens
13:40-14:00	Team 1: IGN	Radim Blaheta
14:00-14:20	Team 2: JAEA	Yusuke Takayama
14:20-14:40	Team 3: KAERI	Changsoo Lee
14:40-15:00	Break	
15:00-15:20	Team 4: NCU/TP	Chia-Wei Kuo
15:20-15:40	Team 5: IRSN	Nadia Mokni
15:40-16:00	Synthesis	Antonio Gens
16:00-17:00	Task D Discussion	Antonio Gens
17:00	Finish	

10/10/2017 (Tuesday PM, Day 1) – Stream 3

Room: Martello

Time	Topic	Speaker
Task F : FINITO		
Fluid inclusion and movement in tight rock		
13:30-13:40	Brief Introduction	Hua Shao
13:40-14:00	Team 1: BGR/UFZ	Hua Shao
14:00-14:20	Team 2: Sandia National Lab	Yifeng Wang
14:20-14:40	Synthesis	Hua Shao
14:40-15:40	Task F Discussion	Hua Shao
15:40	Finish	

11/10/2017 (Wednesday, Day 2) – Stream 1

Room: Bellevue Ballroom A

Time	Topic	Speaker
Task A : ENGINEER		
Modelling advective gas flow in low permeability materials		
08:30-08:40	Brief Introduction	Jon Harrington
08:40-09:00	Team 1: BGR/UFZ	Hua Shao
09:00-09:20	Team 2: CNSC	Elias Dagher
09:20-09:40	Team 3: KAERI	Jin-Seop Kim
09:40-10:00	Team 4: LBNL	Jonny Rutqvist
10:00-10:20	Team 5: SNL	Yifeng Wang
10:20-11:00	Break	
11:00-11:20	Team 6: NCU/TP	Shu-Hua Lai
11:20-11:40	Team 7: Quintessa	Alex Bond
11:40-12:00	Team 8: UPC	Sebastià Olivella
12:00-12:20	Team 9: IRSN	Nadia Mokni
12:20-12:40	Synthesis	Jon Harrington
12:40-13:30	Lunch	
13:30-14:30	Task A Discussion	Jon Harrington
Task E : Multi-scale heater tests:		
Upscaling of modelling results from small scale to one-to-one scale		
14:30-14:40	Brief Introduction	Darius Seyedi
14:40-15:00	Team 1: LBNL	Hao Xu
15:00-15:20	Team 2: Quintessa	Kate Thatcher
15:20-15:30	Coffee Break	
15:30-15:50	Team 3: UFZ/BGR	Thomas Nagel/Hua Shao
15:50-16:10	Team 4: NWMO	Ruiping Guo
16:10-16:30	Team 5: Andra	Manon Vitel
16:30-16:50	Synthesis	Darius Seyedi
16:50-17:50	Task E Discussion	Darius Seyedi
17:50	Finish	

11/10/2017 (Wednesday, Day 2) – Stream 2

Room: Martello

Time	Topic	Speaker
Task G : EDZ Evolution		
Reliability, Feasibility and Significance of Measurements of Conductivity and Transmissivity of the Rock Mass for the Understanding of the Evolution of a Repository of Spent Nuclear Fuel		
08:30-08:45	SSM welcome and update	Flavio Lanaro
08:45-09:00	Brief Overview Status Task G	Tobias Backers
09:10-09:30	Team 1: Seoul National University	Saeha Kwon
09:30-09:50	Team 2: Technical University of Liberec	Jakub Riha
9:50-10:10	Team 3: geomecon comsol	Tobias Meier
10:10-10:30	Team 4: geomecon roxol	Tobias Backers
10:30-10:45	Break	
10:45-11:05	Discussion of results, Synthesis	All, Flavio Lanaro
11:20-12:00	Definition of upcoming duties	Tobias Backers, All
12:00-12:30	Change-Over	
12:30-13:30	Lunch	
Task C : GREET		
Modelling of coupled behaviours during groundwater recovery process around the gallery		
14:30-14:40	Brief Introduction	Teruki Iwatsuki
14:40-15:10	Team 1: JAEA	Hironori Onoe/ Yusuke Ozaki
15:10-15:40	Team 2: SNL	Yifeng Wang
15:20	Coffee available	
15:40-16:10	Team 3: TUL	Milan Hokr
16:10-16:30	Synthesis	Teruki Iwatsuki
16:30-17:00	Task C Discussion	Teruki Iwatsuki
17:00	Finish	

12/10/2017 (Thursday, Day 3)

Room: Bellevue Ballroom

Time	Topic	Speaker
Plenary (Chaired by Jens Birkholzer / Alex Bond)		
08:30-09:15	Task A: Teams 1-9 (5 minutes per team, same order as Day 2)	
09:15-09:25	Task A Synthesis	Jon Harrington
09:25-09:35	Task A Discussion	All
09:35-10:05	Task B: Teams 1-6 (5 minutes per team, same order as Day 1)	
10:05-10:15	Task B Synthesis	Bastian Graupner / Jonny Rutqvist
10:15-10:25	Task B Discussion	All
10:25-10:40	Task C: Teams 1-3 (5 minutes per team, same order as Day 2)	
10:40-10:50	Task C Synthesis	Teruki Iwatsuki
10:50-11:00	Task C Discussion	All
11:00-11:15	Break	
11:15-11:40	Task D: Teams 1-5 (5 minutes per team, same order as Day 1)	
11:40-11:50	Task D Synthesis	Antonio Gens
11:50-12:00	Task D Discussion	All
12:00-12:25	Task E: Teams 1-5 (5 minutes per team, same order as Day 2)	
12:25-12:35	Task E Synthesis	Darius Seyedi
12:35-12:45	Task E Discussion	All
12:45-13:45	Lunch	
13:45-14:00	Task F: Teams 1-3 (5 minutes per team, same order as Day 1)	
14:00-14:10	Task F Synthesis	Hua Shao
14:10-14:20	Task F Discussion	All
14:20-14:40	Task G: Teams 1-4 (5 minutes per team, same order as Day 2)	
14:40-14:50	Task G Synthesis	Tobias Backers
14:50-15:00	Task G Discussion	All
15:00	Coffee available	

Time	Topic	Chair
Project Administration		
15:00-16:00	Open Steering Committee Meeting	Jens Birkholzer
	<ul style="list-style-type: none"> • Agenda TBD 	
16:00-17:30	Closed Steering Committee meeting	Jens Birkholzer
17:30	Finish	

13/10/2017 (Friday, Day 4)

**Technical Visit: Port Hope Long-Term Low-Level Radioactive
Waste Management Project**

Provisional schedule:

08:00 Bus leaves Holiday Inn Waterfront, Kingston

09:45 Bus arrives at CNL's Port Hope facility

15:00 Bus leaves CNL's Port Hope facility

15:45 Bus arrives at Oshawa GO station – Frequent service to Toronto
Union Station

16:00 Bus leaves for Kingston with remaining passengers

18:00 Bus arrives at Holiday Inn Waterfront, Kingston