

人工バリアおよび周辺岩盤における連成モデルの開発プロジェクト 国際共同研究「DECOVALEX」

核燃料サイクル開発機構 正会員 杉田裕，伊藤彰

非会員 川上進，油井三和

京都大学 正会員 ○大西有三，小林晃，操上広志

ハザマ 正会員 千々松正和，雨宮清

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分において，人工バリアおよび周辺岩盤の長期挙動を適切に予測することが処分場の設計や安全評価の信頼性を向上させる上で重要である。そこで起こると考えられる現象は，熱移動，水分移動，応力変化等が互いに影響を及ぼしあうものと考えられ，複雑な解析が必要となり，これらの長期予測は世界的な課題となっている。この課題の解決を目的として国際共同研究「DECOVALEX (international co-operative project for the DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments in nuclear waste disposal)」が行われている。

2. 共同研究の概要

「DECOVALEX」は，地層処分システムの性能評価において重要な課題の一つである熱-水-応力連成モデルの開発・確証を目的とした国際共同研究であり，表-1 に示すように現在，アメリカ，イギリス，カナダ，スウェーデン，スペイン，ドイツ，フィンランド，フランス，日本の9カ国，14機関からの参加がある。参加機関は，それぞれの国の地層処分の実施主体や規制機関であり，実施及び規制の両観点から国際的にも人工バリアおよび周辺岩盤における連成現象の解明が重要な課題であることが認識されている。

「DECOVALEX」は1991年9月から開始され，これまでに，「フェーズ Ⅰ」(1991年9月～1995年10月)，「フェーズ Ⅱ」(1995年11月～1999年6月)と実施し，現在は「フェーズ Ⅲ」(1999年7月～2002年12月)の段階である。

サイクル機構は，Ohnishi ら¹⁾により開発され，人工バリア構成材料である緩衝材（圧縮ベントナイト）中の連成挙動を考慮できるように改良した連成解析コード「THAMES」²⁾を本共同研究に導入した。これまでに，室内試験および原位置試験の結果の解析評価・他機関の解析結果との比較検討により，「THAMES」にさらに改良を加え，信頼性が十分に高いことが示されている³⁾⁴⁾⁵⁾。第2次取りまとめでは，この「THAMES」により，処分場の初期における再冠水挙動を解析評価し，人工バリアは数十年程度で飽和になることを示した⁶⁾。

3. DECOVALEX の活動

現フェーズでは，表-2 に示すように2つの原位置試験をテストケースとして，コードの更なる確証検討を行うとともに（Task1,2），ベンチマークテスト（Task3）では再冠水問題，スケール効果問題，氷河問題を通じて性能評価に与える影響について検討を行っている。また，性能評価における連成現象の取扱いに関する科学的見解の取りまとめ（Task4）も実施している。

解析の取り組みの一例として，Task3 のBMT1の解析結果を図-1に示す。図は，縦置き方式の人工バリア定置後からの飽和度の分布を経時変化で示したものである。定置初期は飽和度の分布が緩衝材内で生じるが，40年後にはほぼ飽和に至る結果を示している。

表-1 DECOVALEX の参加機関一覧

国	機関名
アメリカ	DOE（米国エネルギー省） NRC（原子力規制委員会）
イギリス	NIREX（原子力産業放射性廃棄物管理会社）
カナダ	CNSC（カナダ原子力安全委員会） OPG（オンタリオパワージェネレーション）
スウェーデン	SKI（原子力発電検査庁） SKB（スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社）
スペイン	ENRESA（放射性廃棄物管理公社）
ドイツ	BGR（連邦地質学・資源研究所）
フィンランド	STUK（フィンランド放射性・原子力安全センター）
フランス	ANDRA（放射性廃棄物管理機関） CEA（フランス原子力庁） IPSN（原子力安全・防護研究所）
日本	JNC（核燃料サイクル開発機構）*

*研究チームとして京都大学，ハザマがサポートしている。

表-2 設定課題一覧

Task	題材の概略	設定課題
Task1	グリムゼル岩盤研究施設（スイス）における人工バリア試験（FEBEX 試験）の解析 地下 420m の試験坑道（直径 2.27m，長さ 70.4m）に 2 本のヒータ（長さ 4.54m，直径 0.97m）と緩衝材を設置した横置き的人工バリア試験。ヒータ加熱，減熱試験を行う。	Part A; 岩盤掘削による水-応力連成問題 ⁷⁾ Part B; ヒータ加熱・減熱による緩衝材中の熱-水-応力連成問題 Part C; ヒータ加熱・減熱による岩盤まで考慮した熱-水-応力連成問題
Task2	ユッカマウンテン（アメリカ）におけるヒーター試験の解析 ユッカマウンテンの地下試験場で実施している坑道スケールの加熱試験を取り扱う。加熱試験，減熱試験を実施する。岩盤は凝灰岩で不飽和状態。坑道は直径 5 m，長さ 50m である。ヒータ出力は 280 kW で，岩盤側壁で約 200 に達することが見込まれている。	Part A; 岩盤の熱-水連成解析 Part B; 岩盤の熱-応力連成解析 Part C; 岩盤の熱-水-応力連成解析 Part D; 岩盤の熱-水-化学連成解析
Task3	ベンチマークテスト 条件設定を行ったベンチマークを設定し，それぞれのモデルによる解析結果を比較検討し，評価手法，評価する上での主要なパラメータの把握，問題に対する性能評価への影響についてまとめる。 設定した題材は，再冠水問題，スケール効果問題および氷河問題である。	BMT1; 再冠水問題 壁置き方式の人工バリアにおける再冠水挙動の評価 BMT2; スケール効果問題 岩盤に存在する不連続面のモデル化における等価パラメータの同定と，広域場の評価への拡大の取扱い BMT3; 氷河問題 氷河と退氷の作用による坑道の力学的安定性と透水係数の変化の解析評価
Task4	性能評価における連成現象の取扱いに対する科学的見解の取りまとめ	ベンチマークテストの成果を基本として，地層処分における性能評価の熱-水-応力連成現象の取扱いに関する科学的な統一見解を取りまとめる。特に，各国の性能評価研究者と議論し，性能評価における熱-水-応力連成現象の取扱いに関するコンセンサスを得る。

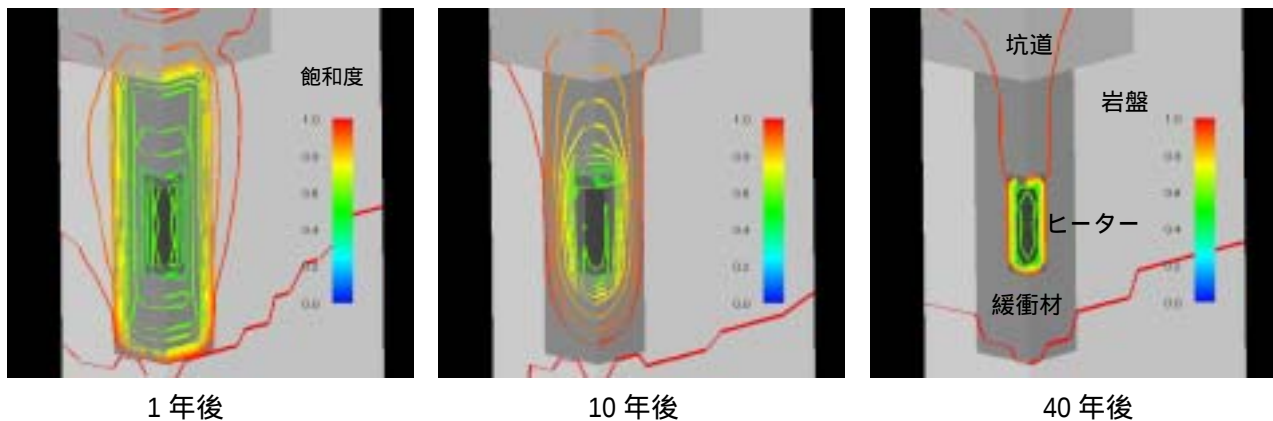


図-1 再冠水解析（飽和度分布の経時変化）結果（Task3 BMT1）

4. まとめ

DECOVALEX への参加によって，世界各国の連成解析コードとの比較検証を行うことが可能となり，所有する解析コード「THAMES」の確証を行うことができた。その成果として，第2次取りまとめにおいて人工バリアの再冠水挙動を評価した。今後の課題として，より安全評価との連携を強化するとともに，設計や安全基準策定のための評価に用いるツールとしての整備に向けたフェーズへの移行を運営会議にて検討している。

【参考文献】

1) Ohnishi et al., (1985): Development of Finite Element Code for the Analysis of Coupled Thermo-Hydro-Mechanical Behaviors of a Saturated-Unsaturated Medium, Proc. of Int. Symp. on Coupled Process Affecting the Performance of a Nuclear Waste Repository, pp.263-268. 2) 千々松ほか (1995): 膨潤応力を考慮した熱-水-応力連成解析, 土木学会第50回年次学術講演会, 第3部A, pp.26-27. 3) 小林ほか (1995): 亀裂性岩盤の連成解析手法の確証プロジェクト「DECOVALEX」の概要と結果, 土と基礎, 43-11(454), pp.39-42. 4) Stephansson et al., (1996): Coupled Thermo-Hydro-Mechanical Processes of Fractured Media, Developments in Geotechnical Engineering, 79, Elsevier. 5) Stephansson (2001): International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, Vol.38, No.1, pp.1-162. 6) 核燃料サイクル開発機構 (1999): わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性. 7) 千々松ほか (2001): DECOVALEX プロジェクトにおいて実施された各解析手法による FEBEX トンネル掘削水理解析結果の比較, 亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム, pp.233-242.