

第 37 回深地層の研究施設計画検討委員会 議事録

【日 時】 令和 6 年 10 月 21 日（月）13:00～17:00

【開催場所】 日本原子力研究開発機構 東京事務所 第 1 会議室（対面・オンライン会議併用）

【出席者】

竹内委員長、川村委員*、岸田委員*、桐島委員*、児玉委員*、榊委員、下茂委員、
所委員*、廣野委員*、安原委員

原子力機構）核燃料サイクル工学研究所：高田所長、北村副センター長、前川技術主席、
杉田研究主幹、西垣客員研究員 他

東濃地科学センター：濱副所長、國分室長* 他

幌延深地層研究センター：館副所長、見掛研究主席*、石井研究主席*、
松井 GL*、早野研究副主幹 他

バックエンド領域：瀬尾上級技術専門官

オブザーバー)

原子力環境整備促進・資金管理センター 江守研究開発部門統括

原子力発電環境整備機構 北川部長

産業技術総合研究所 井川上級主任研究員

原子力機構 安全研究センター 武田研究主席

〔* オンライン参加。

※ 委員のご都合により当日はご欠席。令和 6 年 10 月 9 日にオンライン会議にて意見聴取を実施。〕

【配布資料】

資料 37-1 委員会の進め方と最近のトピックス

資料 37-2 幌延深地層研究計画に関する令和 6 年度の計画及び進捗

資料 37-3 超深地層研究所計画（瑞浪）に関する令和 6 年度の計画及び進捗

【議事概要】（委員等からのご質問・ご意見を「○」、機構からの回答を「⇒」で示す。）

(1) 委員会の進め方と最近のトピックス

○ 原子力機構の「変革に向けた取組」の中で、サステナブルは本委員会の対象分野であると理解するが、ユビキタスはどのような分野を考えているのか。

⇒ 土木分野への応用や、微生物に関する研究が自然科学の基礎的な知見にもなるように、幅広い多様な分野に活用できるものと考えている。

○ 主務大臣評価について、地層処分については A 評価相当とのことだが、全体として B 評価である理由は何か。

⇒ 項目全体は、高レベル放射性廃棄物の処理と処分に関する研究開発を合わせて B 評価とされたものである。

○ 地層処分をめぐる国内動向に関して、他の地域では動きはあるのか。

⇒ NUMO が鋭意取り組んでいるものと認識している。

○ 地層処分をめぐる国外動向に関して、韓国では花崗岩系の地下研究施設が建設されることだが、韓国と共同でプロジェクトを実施する予定などはあるのか。

⇒ 具体的な予定はない。なお、研究機関である KAERI とは研究協力協定があり、KAERI は HIP へも参加している。KAERI などを通じて、研究協力の可能性を検討していく。

(2) 幌延深地層研究計画に関する令和 6 年度の計画及び進捗

- 止水プラグの設置試験について、水みちの把握などの試験の実施場所はどこか。
⇒ 止水プラグは、350m 調査坑道の試験坑道 6 に設置予定である。350m 調査坑道や試験坑道 6 の掘削及び周辺でのボーリング孔掘削の際に、断層や割れ目、EDZ の分布などの水みちに関する情報を得ている。
- 深度 350m と 500m の 2 地点の成果から体系化を行うとのことだが、体系化とは、一般的にはサイトが変わっても適用できるようなものであると理解する。2 地点のみの情報で体系化に取り組むことについては、どのように考えているのか。せめて 3 地点は必要ではないか。
⇒ 深度 350m から得られた知見を深度 500m の掘削・調査に適用し、両深度で得られた知見の比較を通じて、一連の技術として体系的に整理することを考えている。ご指摘の通り、幌延の当該箇所のみで、様々な堆積岩を網羅する一般化された体系化を行うことは難しいと考えている。一般化の観点も意識して取りまとめていきたい。
- 止水プラグの設置については、350m 調査坑道から得られた知見のみから体系化を行うとのことだが、その根拠は何か。他の委員からも指摘があったように、体系化・一般化について、より明確なビジョンを示した方が良い。
⇒ 500m 調査坑道においても止水プラグを設置し、350m 調査坑道から得られた知見と比較することが望ましいが、スケジュール等の制約から難しい。両深度での調査から得られた地質環境や水みちの分布、形成メカニズムなどの知見を統合することで、深度 500m の環境における適用性も念頭に止水プラグ設置に関する知見を体系的に取りまとめた。体系化の明確なビジョンについては、両深度から得られた知見の具体的な比較方法や一般化の観点も含めて、体系化の全体図(P.9)を具体化していきたい。なお、両深度ともに珪質岩(稚内層)であり、物性などに大きな違いはなく、比較は可能と考えている。
- 体系化のタスク 2 の内容は、HIP のタスク B と同一か。HIP のタスク B の参加国の地質環境は様々だと思うが、各機関は体系化についてどのような意見を持っているのか。
⇒ 両タスクの内容は同一である。HIP のタスク会合において、参加機関との議論を進めてきており、今後の議論を通じてさらに具体的な意見を聴取し、体系化に反映していきたい。
- HIP では、タスク毎に成果を取りまとめるのか、各タスクの参加機関がそれぞれの関心事を取りまとめるのか。
⇒ HIP はタスク毎に関心のある機関が参加しており、基本的にはタスク毎に成果を取りまとめることになるが、タスク間で連携すべき点は合同タスク会合において議論している。原子力機構としては、体系化の観点から、各タスクの成果の統合を意識して進めていくことが重要であると考えている。
- DI の算出(P.8)について、ばらつかずに直線になる理由は。幌延以外の岩盤に対しても DI から透水性などを評価することは考えているのか。体系化の観点から重要であると考え。
⇒ DI は水圧と平均応力及び岩石の硬さから算出している。水圧は静水圧を、平均応力は地下施設周辺のボーリング調査から得られた深度との関係に基づく式を用いている。岩石の硬さは、対象となる稚内層の続成作用の程度で区分される 3 つの領域の岩石の室内試験結果から求めた平均値を用いている。DI は様々な岩盤のデータから検討したものである。
- 水理特性の評価で用いている「流れの次元」は、研究目的以外では一般的な概念ではな

- く、従来の岩盤の貯留性等で説明可能ではないか。体系化に当たっては、流れの次元や DI を用いることについて丁寧な説明が必要ではないか。
- ⇒ 貯留性等と比較して、流れの次元が、湧水量の低下の時間変化に最も大きな影響を与えることが解析により示されたため採用したもの。次回の委員会で詳細を説明するようになりたい。
- 流れの次元を体系化の中でどう位置づけるか、地下水流動解析においてどのように活用するのかという点を整理しておくことが重要ではないか。
- 深度 500m における坑道周辺の EDZ の発達領域は深度 350m と比較して大きい(P. 29)、岩盤の強度のばらつきはどのように考慮して解析したのか。データが拡充されるとこの予測は大きく変わり得るか。また、この予測はどのように使うのか。
- ⇒ 今回の解析では、地上からのボーリング調査により得られた深度 500m に相当する岩石試験を用いた室内力学試験結果の平均値を用いている。現時点ではデータが少ないため、ばらつきは考慮していない。今後 500m 調査坑道掘削時に実施する室内試験でデータを拡充し、物性値を更新して解析を実施していく。なお、EDZ の発達領域が大きい要因は深度 350m と比較して地圧が大きいことに加えて掘削前の間隙水圧が高いためであると考えている。今回の予測結果は、500m 調査坑道で実施する原位置試験結果との比較によりどの程度予測できたかを検証する際に活用したい。
- 深度 500m では岩石が固く、水圧が高いものと考えられる。EDZ の発達領域が大きいとの解析結果は、深度 350m と比較して、坑道掘削時に早期の吹付け等の対処の必要性を示唆するものと考えられる。このような予測が、地上からのボーリング調査の限られたデータから得られることが重要である。
- 深度 500m の掘削に当たり、山ハネなどの特異な現象は想定されるのか。
- ⇒ 現時点で東立坑を深度 500m まで掘削しているが、堆積軟岩であることもあり、そうした現象は生じていない。なお、安全確保のため、掘削後は速やかに覆工することとしている。
- EDZ の定義はどのように考えているか。力学解析では弾塑性モデルを用いているのか。その場合、降伏関数によって破壊を判定していることや、破壊のメカニズムがせん断か引張かなどを示すべきでは。
- ⇒ 本検討において、EDZ は、坑道掘削により岩盤中に割れ目が形成されて透水性が増大した領域としている。今回示した解析は弾塑性モデルを用いており、三軸圧縮試験結果に基づいて破壊規準を設定の上、EDZ を塑性領域として判定している。解析条件等の詳細は、次回詳細な成果を説明する際に明記する。
- 有機物・微生物・コロイドの影響評価(P. 19)のうち、微生物による有機物分解、微生物組成の経時変化の詳細を教えてください。また、コンクリート試験体の一軸圧縮強度の経時変化(P. 21)は 3 年程度のデータで十分なのか。
- ⇒ 有機物分解については、深度によって陸性(天水由来)の腐植物質と海洋性(化石海水由来)の腐植物質の混合割合や微生物によるこれら有機物の分解度合いが異なり、それに伴い有機物と Eu の親和性にも違いが見られた。微生物組成の経時変化については、坑道壁面からの距離の違いに応じて経時変化の度合いに違いがみられるものの、いずれの変化もそれほど急速ではない。コンクリート試験体については、炭酸化の進行速度は、土木学会の指針として評価式があるため、これとの比較およびこれまで実施してきた物性試験結果を組み合わせることで数十年の長期的な物性変化を評価する手法の検討を行うことを考えている。
- 高温度の試験は地下水の飽和後とのことで、実際にベントナイト内で 100℃を超えた箇所は一ヶ所しか見られない(P. 24)。ベントナイト表面のひび割れ(写真)はヒーター全長

にわたる全周か、100°Cを超えた箇所のみか。

- ⇒ ひび割れは、12 段の緩衝材ブロック中 3 段目より下(センサー1、4、7)のヒーターとの接触面で認められた。試験体は、安全への配慮から上部からの地下水の侵入がないよう止水処理をしており、地下水は側方と底盤部からのみ浸潤する境界条件となっている。よって、加熱開始時にベントナイトが飽和していたわけではない。
- 止水プラグの設置(P. 41)について、止水プラグおよびその奥の埋め戻し材部は、試験期間中に坑道周囲からの地下水で浸潤されるのか。また、試験体の解体時期はいつか。
- ⇒ 自然湧水では試験期間が長期化するため、注水管を配して強制的に地下水を注入し、埋め戻し材の膨潤挙動や止水性能を確認する計画である。令和 9 年度中頃に設置を完了し、同年度末まで注水を予定している。解体については検討中である。
- 深度 500m と 350m の地質環境の違い(P. 7)のうち、深度 500m では地圧が大きく岩石が軟らかいと記載は絶対的な評価なのか、深度 350m と比較した評価なのか。具体的なデータがあると理解しやすい。
- ⇒ 両深度とも一軸圧縮強度からは堆積軟岩に分類される。深度 350m の方が続成作用によるセメンテーションにより、深度 500m よりも硬い岩盤である。地圧は、両深度とも密度相当で、日本列島に見られる東西圧縮場にあり、特異なものではない。
- 物質移行試験(P. 17、18)について、破過曲線の時間の単位は比較できるよう統一すべき。パラメータの一覧表は各解析結果に併記すると分かりやすい。評価モデルの図の記載が適切か再確認してほしい。トレーサーの回収率が 6%と低いが、試験結果の妥当性、代表性や評価の考え方を検討すべきでは。試験結果の評価に 1 次元の pipe モデルを用いているが、従来の連続体モデルによる評価と比較することにより評価の適切性が理解されやすいのではないか。なお、体系化のタスク 1~4(P. 29~)は HIP のタスク A~C と混同するため整理をお願いしたい。
- ⇒ 頂いたご指摘を踏まえ、整理したい。これまで様々な深度や条件で物質移行試験を実施しており、今後、体系化を進める中で、それぞれの特徴を比較できるように整理したい。

(3) 超深地層研究所計画 (瑞浪) に関する令和 6 年度の計画及び進捗

- 運搬に用いたダンプの台数から推定される立坑の埋め戻しに使用した砂の重量と、立坑の体積から、埋め戻された砂の相対密度が算出できるはずである。最初に埋め戻された砂の緩さの程度が、砂の室内試験なども用いて、また埋め戻しの時間との関係から空間的な分布も評価できる可能性があるのではないか。検討願いたい。また、追加の埋め戻し部には新たに計測装置は設置したのか。
- ⇒ 砂の密度などのパラメータは仮定する必要があるものの、概略の評価はできると考えている。対応を検討したい。追加の埋め戻し部には新たに計測装置は設置していないが、既存の水圧センサーで注水量に応じた変化を観測できている可能性もある。データを詳細に確認する。
- 主立坑と換気立坑の累積沈下量(P. 19)の差は、埋め戻し部上部の水締めが十分でない箇所での地下水の湧水状況の違いによる可能性が考えられる。
- 沈下した埋め戻し部の体積を両立坑で試算したところ同程度であった。両立坑の径が異なるため、坑道の接続部などで水締めにより沈下量に差が出た可能性も考えられる。
- ボーリング孔の埋め戻しの際は、センサー等も含めて残置しているのか。
- ⇒ センサー類は撤去しており、ボーリング孔口保護用のパイプのみ残置している。地下水観測装置 (MP システム) が設置されている孔については、装置を全て回収することを基

本としているが、回収が不可能な場合は、残置してボーリング孔を閉塞している。

- 地下水の環境モニタリング調査の分析(P.8)は原子力機構内で行っているのか。
⇒ 分析結果の計量証明が必要であるため、外部の事業者に委託している。
- 沈下の際の周辺の地下環境への水理学的な擾乱に非常に興味がある。沈下現象は大規模な井戸試験とも言え、水理学的なコンパートメント構造を明らかにするための重要なデータが得られたと考える。それらの評価も行うとよいのではないか。
⇒ 承知した。
- 次期中長期目標期間の予定は。
⇒ 未定である。なお、超深地層研究所計画は令和9年度末で完了する計画である。
- 観測機器を撤去した後のモニタリングはどうするのか。ミュオンなどの宇宙線を用いた観測手法を地層処分分野へ導入するための技術開発も視野に入れるとよいのではないか。非破壊で観測できる将来性のある技術であり、活断層の研究の分野などで進めることも考えてみてはどうか。
⇒ ご指摘の技術は有用であると考え。今後の研究開発において検討したい。
- 水みちの分布も図に併記すると、ボーリング孔や観測点の配置の意図、水質の変化の原因などが理解しやすくなる(P.7)。公開データを活用しやすくするためにも、そのような背景情報も併せて公開してほしい。
⇒ 地下水の環境モニタリング調査に利用しているボーリング孔については、ボーリング調査の結果を全て報告書などで公表しているものの、モニタリング結果との関係付けは、現時点では難しいと認識している。今後、地下水環境モニタリング調査結果の報告書に、ボーリング調査結果等も引用するなど、対比できるよう検討したい。
- 瑞浪用地は、埋め戻した後の坑道の覆工コンクリートの劣化の影響調査や、観測機器の耐久性の検討などに活用できるのではないか。モニタリングの方法は様々な地下施設でも試行されているが、将来的に、人の監視だけではなくAI等によりアラームが出せるようなシステムの検討も必要と考えられる。
- 立坑埋め戻し面の沈下は、現在どのような状態か。原因究明は行っているのか。
⇒ 現在は安定しており、大規模な沈下現象は発生しないと考えている。原因については、前回ご報告したとおりである。
- 2度目の沈下は防がなければならないと考える。沈下の予兆と考えられるデータは得られていないのか。
⇒ 地下坑道の埋戻し後の地下水水圧の回復傾向と異なる変化は観測されていない。また、立坑周辺の地盤沈下も観測されていない。

(4) 総合討論

- 次回(令和7年3月11日開催予定)は、特に幌延の今年度の成果について当日十分な議論を行えるよう、事前に、できるだけ早めに資料を提供願いたい。その際、議論のポイントも記載願いたい。
- 委員側は以前の説明の詳細を十分に記憶していない場合もあるため、できるだけ丁寧に説明願いたい。例えば、実験結果の図には、実験の全体像を示すフロー図や使用データ、前提となる仮説や条件、用いたモデルなどの関連情報を併せて示してほしい。専門外の相手にも内容が伝わる工夫をお願いしたい。
- 幌延の研究開発について、各テーマの目的や成果の反映先が一目で分かるような全体像

を示した図を作成し、研究テーマの進捗や今後の課題を分かりやすく整理してほしい。
ポスターをイメージし、P. 11 の図を詳細化するのがいいのではないかと。

⇒ 今年度は全体像の整理が重要と考えている。情報量が多いため論点を絞りつつ、詳細な情報を参考資料とするなど、次回の委員会に向けて検討していきたい。

○ 幌延の研究開発のうち、DI は重要な指標であるとして、成果を精力的に論文化していることは評価できる。一方、体系化・一般化には検討すべき課題があると思う。地層処分研究開発の新しい成果を学生に伝え、異なる分野での適用・活用を進めることが有効ではないか。原子力機構には学生を受け入れる制度はあるか。

⇒ 夏期休暇実習生や特別研究生などの制度を通じて学生を受け入れている。幌延国際共同プロジェクト等も活用し、国内外の研究者や学生の受け入れを進めていきたい。

最後に委員長から、本委員会の総括として以下の発言があった。

○ 幌延については、個々の研究開発は着実に進んでおり、今後、これらの成果をどのように統合していくかが重要である。本日は全項目を一度に説明されたが、途中で議論の時間を設けたほうがよりよい議論ができるのではないかと。

○ 瑞浪については、沈下前の砂の相対密度の評価等ができるよう検討をお願いしたい。

○ 技術開発成果は、NUMO による事業での活用とともに、若い世代への継承が重要であり、その方策について引き続き検討をお願いしたい。

以 上