

**幌延深地層研究所計画に関する
必須の課題成果取りまとめについて
—報告書案に対する委員会からのコメント対応結果と
必須の課題成果の総括的まとめ—**

2019年1月15日

幌延深地層研究センター

必須の課題の総括的まとめ

必須の課題の総括的まとめ

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

人工バリア性能確認試験、オーバーパック腐食試験、物質移行試験

| | |
|-------------------|--|
| 達成目標 | <ul style="list-style-type: none">人工バリアの設計、製作・施工、品質管理手法の適用性確認熱、水、応力、化学連成評価手法とモニタリング手法の適用性確認オーバーパック腐食評価手法の妥当性確認と原位置でのモニタリング手法の適用性確認実際の地質環境における物質移行特性評価手法の整備 |
| 成果のまとめと達成度 | <ul style="list-style-type: none">処分孔縦置き方式の実規模の人工バリアについて、緩衝材、オーバーパック、坑道埋め戻し材、力学プラグの実際の設計・製作・施工を通じて、既存の設計フローや品質管理手法の有効性を確認した。加熱・注水による人工バリアの過渡的時期における、熱－水－応力－化学連成現象に関するデータを取得し、整備したTHM/THMC連成解析コード(THAMES/COUPLYS)により、連成現象をより再現可能となった。既往のオーバーパックの腐食評価手法の保守性、妥当性を確認するとともに、腐食センサーを用いた腐食挙動のモニタリングが可能であることを確認した。実際の地質環境において、室内試験と原位置試験を組み合わせたモデル化により物質移行挙動を適切に評価することが可能となった。 <p style="text-align: right;">→目標達成</p> |

必須の課題の総括的まとめ

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

| | |
|------------------------------|--|
| <p>さらなる技術レベルの向上に向けた方策・提案</p> | <ul style="list-style-type: none">• 緩衝材中への地下水の浸透の促進、減熱過程におけるデータ取得。解体調査、サンプリング。• MC相互作用のモデル開発によるTHMCモデルの高度化。• 環境条件(水分量、pH)のモニタリングにおける代替的計測手法の検討、測定結果の妥当性の検証。緩衝材の再冠水～飽和の過渡的過程における腐食メカニズムの理解。• EDZにおける物質移行評価。コロイド、有機物、微生物共存系での物質移行挙動の把握。 |
|------------------------------|--|

成果総数： 技術開発報告書類：10件、学術論文2件、学会プロシーディング等11件

必須の課題の総括的まとめ

②処分概念オプションの実証

処分孔等の湧水対策・支保技術、人工バリアの定置・品質確認などの実証試験

| | |
|-----------------------|---|
| 達成目標 | <ul style="list-style-type: none">• 実際の地質環境における湧水抑制対策・支保技術の実証• 人工バリアの搬送定置・回収技術の実証 |
| 成果のまとめと達成度 | <ul style="list-style-type: none">• 突発湧水の発生の原因となりうる粘土質せん断帯の事前予測手法として、メルトインクルージョンに着目した事前予測手法が有効であることを示した。また、海水条件下において処分孔の湧水抑制対策に適用可能な溶液型グラウト配合を提案した。• 大深度における立坑崩落への対策を考慮した情報化施工技術を適用し、その有効性を実証するとともに、二重支保やその長期安定性を把握するためのモニタリング技術の有効性を示した。• 実際の地下環境において、処分坑道横置き定置方式のうち、PEM方式に対する搬送定置・回収試験を行い、エアベアリングを用いた搬送定置・回収技術の適用性を示した。 <p style="text-align: right;">→目標達成</p> |
| さらなる技術レベルの向上に向けた方策・提案 | <ul style="list-style-type: none">• 日々進化する湧水抑制対策技術のレビューならびに新たな坑道掘削時における最新技術の適用と有効性の評価 |

成果総数： 技術開発報告書類：12件、学術論文4件、学会プロシーディング等11件

必須の課題の総括的まとめ

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

| | |
|-----------------------|--|
| 達成目標 | <ul style="list-style-type: none">断層の変形様式を支配する強度・応力状態の指標化断層の透水性の潜在的な上限と指標との関係性の整理とモデル(経験則)の構築原位置試験によるモデルの検証 |
| 成果のまとめと達成度 | <ul style="list-style-type: none">引張強度で標準化したモール円の中心位置(DI)が断層のダメージゾーンの変形様式と定量的な対応付けが可能。ボーリング調査でフローアノマリーとして検出される断層帯亀裂の透水性とDIの関係性を検討した結果、両者には十分な相関性が認められ、断層帯亀裂の潜在的な透水性の上限は、DIを用いた経験式によりある一定の幅を持って予測できる可能性が高いことが分かった。ボーリング孔を用いて断層を対象とした水圧擾乱試験を行った結果、新たにせん断変形が起こったり、有効応力が低下したとしても、断層帯亀裂の透水性はDIの経験式の範囲を超えないことを確認。 <p style="text-align: right;">→目標達成</p> |
| さらなる技術レベルの向上に向けた方策・提案 | <ul style="list-style-type: none">データの蓄積によるモデルの妥当性の検証 |

成果総数： 技術開発報告書類：0件、学術論文6件、学会プロシーディング等5件

委員からの主なコメントと対応結果

委員からの主なコメントと対応結果

－全体－

| No. | コメント | 対応結果 |
|-----|---|--|
| 3 | <p>(全体)</p> <p>(コメント)</p> <p>各節には必須の課題に対する「個別目標」が示されている。成果、まとめはこれに対応するように書くようにしてください。また、他と構成や書き方が異なる章がありますので統一してください(例えば3.3)。</p> | <p>目標に対して、成果やまとめが対応するようにしました。</p> <p>項目立てやフォーマットを統一しました。</p> |

委員からの主なコメントと対応結果

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

1) 人工バリア性能確認試験

| No. | コメント | 対応結果 |
|-----|--|---|
| 1 | <p>(原文 p.39 4) モニタリング手法の適用性確認)</p> <p>(コメント) p.39の結果では、それぞれのセンサーに対して、室内実験で十分長い時間、その耐久性に対して検討してきたのかどうかがよくわからない状況で現場に設置したのでしょうか。あのような中にサイクロメーターを設置しようとの考えは、どんなバックデータからの発想かと思う。</p> | <p>センサーの選定について、報告書に下記の通り記載しました。</p> <p><u>「各センサーの選定に際しては国内外の事例を参考にした [6] [22] [23] [24] [25]。緩衝材膨出センサー、光学式pH計、腐食センサーについては既存の市販品等に適用可能なものがなかったため、原位置における適用性確認も含めて新規に開発したものを使用した [15] [16] [17] [18] [19]。」</u></p> |

委員からの主なコメントと対応結果

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

1) 人工バリア性能確認試験

| No. | コメント | 対応結果 |
|-----|---|---|
| 1 | <p>(原文 p.39 4) モニタリング手法の適用性確認)</p> <p>(コメント) 13種類のセンサーを設置して4種類のセンサーから何かのデータが取れているが、そのデータの精度まで議論できているのだろうか。 その数少ない計測データと数値解析の結果とを比較して、数値解析手法が有効であると結論付けようとしているが、少し無理があるように考えられる。</p> | <p>現在までに実施した結果と今後実施すべきことについて、報告書に下記の通り記載しました。</p> <p><u>「これまでに取得されているデータを対象に、ケーブルの断線などによる物理的な欠損の有無、加熱注水などの外的要因に対する変化、同距離に設置したセンサー同士の比較により、全体の約8割のセンサーが稼働していることを確認した(図 3.1.1.5-11)。」</u></p> <p><u>「計測不可となったセンサーについては、計測データのみでは詳細が把握できず室内試験や解体調査などによりその要因を確認し、その対策を検討する必要がある。また、現状で問題ないと判断したセンサーにおいても、その精度までは確認できておらず同様の調査が必要である。」</u></p> |

委員からの主なコメントと対応結果

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

1) 人工バリア性能確認試験

| No. | コメント | 対応結果 |
|-----|---|--|
| 1 | <p>(原文 p.39 4) モニタリング手法の適用性確認)</p> <p>(コメント) その数少ない計測データと数値解析の結果とを比較して、数値解析手法が有効であると結論付けようとしているが、少し無理があるように考えられる。</p> | <p>解析コードの改良と幌延を事例とした解析検討について、報告書に下記の通り記載いたしました。</p> <p><u>「解析コードの改良により、より現実に沿った連成現象を再現することが可能となった。さらなる再現性の向上のためには、力学特性の温度依存性を明らかにする必要があり、今後も継続した解析コードの高度化が必要である。」</u></p> <p><u>「THM連成解析の結果、温度分布は計測値とほぼ一致しており、解析コードの適用性が確認された。一方、飽和度分布や応力は計測値と同様の傾向が確認されているものの、一部再現出来ていないところや計測値との開きがあるところが見られる。現在は、緩衝材中への浸潤状況が外周部周辺に留まっており、ニアフィールド領域の過渡期状態変遷を十分に評価できたとは言い難い。最終的ゴールとしている過渡期におけるTHMC連成現象の評価手法の適用性を確認するためには、今後予定している減熱過程でのデータ取得や解体調査によるサンプリングなどによる調査が必要である。」</u></p> |

委員からの主なコメントと対応結果

－①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認－

2) オーバーパック腐食試験

| No. | コメント | 対応結果 |
|-----|-----------------------|------|
| | 本項についてのコメントはありませんでした。 | |

委員からの主なコメントと対応結果

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

3) 物質移行試験

| No. | コメント | 対応結果 |
|-----|---|---|
| 3 | <p>(原文 p.39 拡散試験装置の概念図)</p> <p>(コメント) p.59の図3.1.3.1-1によると25cmの軸対称でのトレーサの注入試験を324日実施され、φ76の注入孔の外側にφ180程度のオーバーコアリングをされて、そのコアからトレーサの浸入状況を計測した結果と理解しましたが正しいでしょうか。</p> | <p>ご理解の通りです。本文中にオーバーコアリング→コア取得→データ取得の概要を追記しました。</p> <p><u>「原位置拡散試験は約11ヵ月実施し、試験区間における各トレーサの濃度減衰データを取得するとともに、原位置拡散試験後に試験区間周辺岩盤のコアリング(φ150mm)を行い、採取したコアの内部に拡散・収着したトレーサの濃度プロファイルを取得した。」</u></p> |

委員からの主なコメントと対応結果

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

3) 物質移行試験

| No. | コメント | 対応結果 |
|-----|--|---|
| 10 | <p>(原文 p.64) 単一割れ目を対象としたトレーサー試験における非収着性トレーサー(ウラニン)を用いたダイポール試験で取得された破過曲線に対し、一次元移流分散モデルの重ね合わせによる解析を行い(図 3.1.3.2-2)、割れ目中の主経路と考えられる移行経路沿いの分散長を同定した。</p> <p>(コメント) p.64の(3)成果にダイホール試験の結果を一次元移流分散モデルで評価しているが、瑞浪トレーサ試験では2次元移流分散モデルや3次元で実施しているが、それとの差について論議してほしい。一次元のほうが危険側で評価しているならそれを述べてほしい。</p> | <p>ダイポール試験において1次元移流分散モデルによる評価を行った理由について追記しました。</p> <p><u>「単一割れ目を対象としたダイポール試験結果を解析・評価する上で、単一割れ目内のトレーサーの移行に関する評価モデルを2次元または3次元に拡張させるだけの情報が必ずしも十分ではなかった(割れ目内のチャネリング構造や亀裂開口幅分布など)ため、今回は保守的に1次元モデルを適用した。」</u></p> |

委員からの主なコメントと対応結果

② 処分概念オプションの実証

1) 処分孔の湧水対策・支保技術

| No. | コメント | 対応結果 |
|-----|--|---|
| 4 | <p>(原文 p.72-76) 3.2.1 処分孔の湧水対策・支保技術</p> <p>(コメント) 3.2.1のタイトルが処分孔の湧水対策・支保技術となっているが、3.2.1.1の中で処分孔の湧水対策について記述がない。</p> | <p>処分孔の湧水対策・支保技術という項目名となっていますが、処分孔への適用性の検討に資するために、まずは坑道で実施してきた研究・技術開発の実績について記載するというスタンスです。</p> <p>報告書3.2.1節冒頭に、下記の文章を記載しました。</p> <p><u>「高レベル放射性廃棄物の地層処分において、建設時の安全性を考慮しつつ柔軟な処分場設計を行うことを支援するために、アクセス坑道、処分坑道や処分孔等における湧水抑制対策や、坑道設計技術、情報化施工技術を構築することが重要である。これらの技術構築のために、湧水抑制対策・支保技術の実証試験を行うとともに、坑道における岩盤変位や支保工応力等の計測技術の構築と、それらの処分孔への適用可能性を検討することが重要である。」</u></p> |

委員からの主なコメントと対応結果

②処分概念オプションの実証

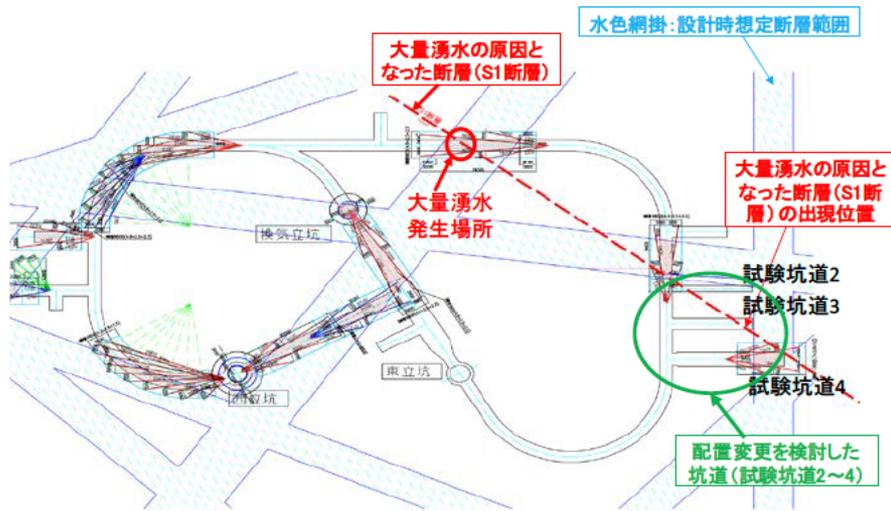
1) 処分孔の湧水対策・支保技術

| No. | コメント | 対応結果 |
|-----|--|--|
| 3 | <p>(原文 3.2.1.1 p72-76) 3.2.1.1 湧水対策</p> <p>(コメント) プレグラウトの場合、そこに処分坑道を掘削することによって、大湧水が生じる可能性がわかった場合、その湧水箇所を避けてどのように施工するかを一般的には考えます。しかし、まだ掘削して大量の湧水がどこで生じるかがわかっていません。まず、この事前調査法を確立してほしいです。いかにそれが可能になると、いかにその領域を避けて処分空洞を掘削するかを検討する方法を確立する方向に進んでほしいです。</p> | <p>大量湧水の原因となる断層を避ける形で坑道配置を変更した事例がありますので、報告書中に示しました。</p> <p>事前調査に関しては、断層粘土中のMIの分布の確認が新技術として重要です。これについては、突発的な大量湧水への対策のところで記載しております。</p> |

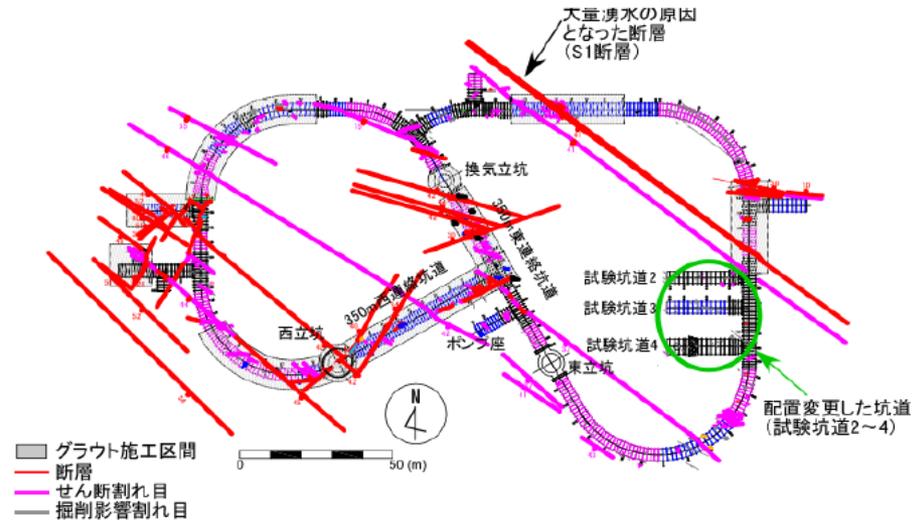
委員からの主なコメントと対応結果

② 処分概念オプションの実証

1) 処分孔の湧水対策・支保技術



レイアウト変更前



レイアウト変更後

委員からの主なコメントと対応結果

②処分概念オプションの実証

1) 処分孔の湧水対策・支保技術

| No. | コメント | 対応結果 |
|-----|--|---|
| 3 | <p>(原文 3.2.1.1 p72-76) 3.2.1.1 湧水対策</p> <p>(コメント) グラウトすることによって、岩盤の注入領域の透水係数が低下すると、その注入領域内にトンネルを掘削した事によって、トンネルがその水圧によって破壊しないかどうかを、連成解析的に検討する手法を確立してほしい。</p> | <p>連成解析的に水圧増大時の岩盤破壊や坑道安定性について検討することは非常に重要と考えています。</p> <p>報告書中では、等価多孔質媒体モデルに基づく数値解析結果について述べておりますが、そこでは、水圧の影響は考慮しておりませんでしたので、今後の課題として追記しました。</p> <p><u>「グラウト浸透解析で考慮していない地下水圧の影響の検証、すなわち注入時および注入後の水理力学連成挙動を検討する。」</u></p> |
| 3 | <p>(コメント) グラウト注入した領域の調査方法がまだ確認されていない。</p> | <p>グラウト浸透解析の結果の妥当性の検討のために、開発すべき重要な技術と考えます。グラウト浸透領域の評価の今後の課題として記載しました。</p> <p><u>「実際のグラウト浸透領域を可視化できるような探査手法の構築により、実際の浸透領域と比較し、解析による予測の高度化を図る。」</u></p> |

委員からの主なコメントと対応結果

② 処分概念オプションの実証

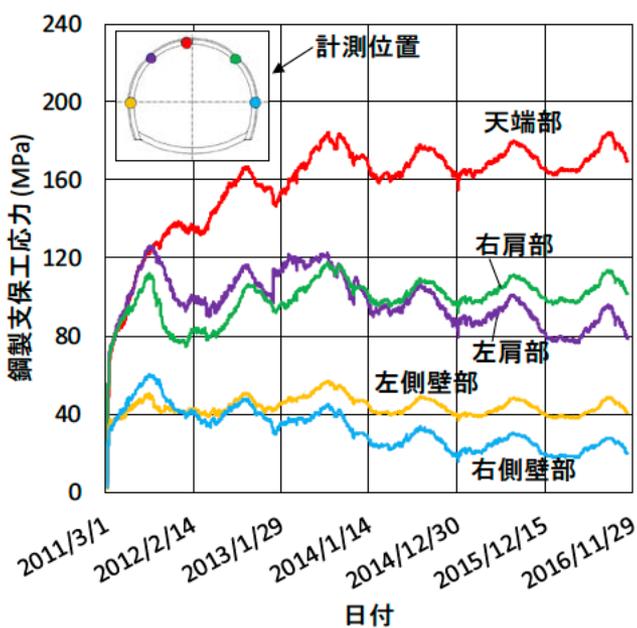
1) 処分孔の湧水対策・支保技術

| No. | コメント | 対応結果 |
|-----|---|---|
| 5 | <p>(コメント) 「既発表のガイドライン」の位置づけ、何が明確になっていないのか、何を更に行う必要があるのかなどが判らない。更新は、ガイドラインの内容を拡充する(精度を上げる、事例を増やすなど)のか、新たな研究開発の知見を盛り込んで改訂・拡充するものなのかを明示する必要があるのではないか。すなわち更新をどこまでやる必要があるのかを示す必要があるのではないか。</p> | <p>グラウトガイドラインについて詳細が示されておらず、読者に不親切であると考えたため、グラウトガイドラインはどのようなものを詳細に記載しました。また、ご指摘いただきました点につきましては、グラウトガイドラインは「新たな研究開発の知見を盛り込んで改訂・拡充するもの」、という理解です。</p> <p>湧水抑制対策の成果の記載では、グラウトガイドラインの更新に資するべき課題として3つの課題を抽出し、それぞれの成果を示しています。成果のまとめのところに、<u>抽出した課題に対する成果がグラウトガイドラインにどのように反映されるか</u>、といった展望を追記しました。</p> |

委員からの主なコメントと対応結果

②処分概念オプションの実証

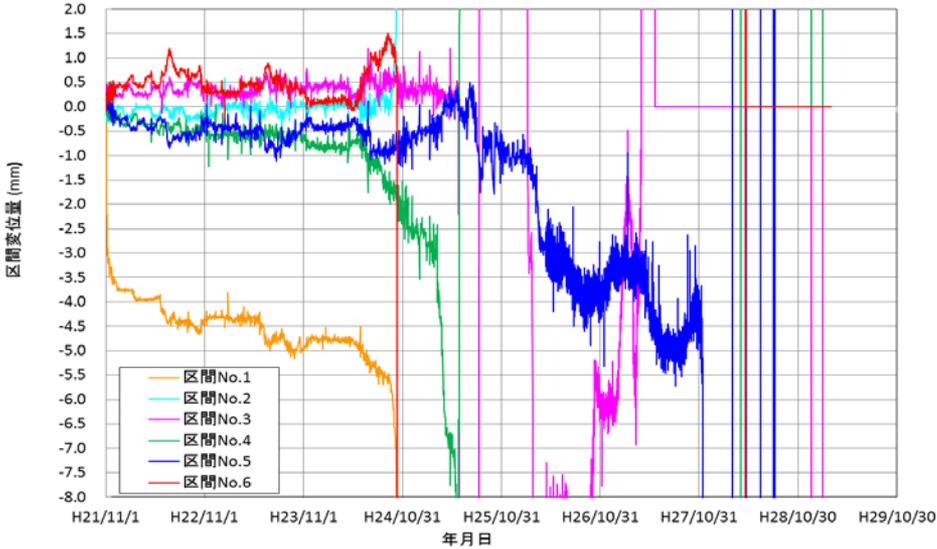
1) 処分孔の湧水対策・支保技術

| No. | コメント | 対応結果 |
|-----|---|--|
| 20 | <p>(原文 p80) 図3.2.1.2-4 弾性波トモグラフィ調査実施断面付近の鋼製支保工の応力測定結果</p>  <p>(コメント) 鋼製支保工の応力がなぜ周期的に変動するのか？</p> | <p>坑内温度が季節的に変動しますので、その影響を受けて鋼製支保工の伸び縮みが発生している影響を反映しているものと考えています。なお、周期的な変動が計測されていますが、支保工の健全性に影響があると評価される管理規準値には達していないため、安定性の判断には問題がないことは確認できています。</p> |

委員からの主なコメントと対応結果

② 処分概念オプションの実証

1) 処分孔の湧水対策・支保技術

| No. | コメント | 対応結果 |
|-----|---|--|
| 22 | <p>(原文 p81) 図3.2.1.2-6 地中変位計による計測結果</p>  <p>(コメント) 光ファイバー式の安定性がよくわかる結果と思いますが、電気式の寿命は約3年程度と読めますが、一般的ですか？また、どこが不安定になるのでしょうか？</p> | <p>センサーの寿命に関する詳細な統計的なデータは今のところ有しておりませんが、多くの計測を行っている幌延では、3年程度が平均的な寿命であるといえます。また、計測が不安定になる理由としては、以下の文章を追記しました。</p> <p>「電気式変位計で計測不良が生じる原因としては、経年により地下水がセンサー部に入り込み、絶縁不良を起こすことが一つとして挙げられる。一方、光ファイバー式センサーは電気を使用していないので、絶縁不良が生じることはなく、長期間安定した計測ができる。」</p> |

委員からの主なコメントと対応結果

②処分概念オプションの実証

2) 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験

| No. | コメント | 対応結果 |
|-----|--|--|
| 23 | <p>(原文 p.86) 3.2.2.1 処分坑道横置き定置方式のうち、PEMを用いた搬送定置・回収技術の実証 (4)まとめ)</p> <p>(コメント) まとめでは、今回実施した項目についてのみ述べられているが、今回の内容は定置に関する様々な検討課題のごく一部であり、基本的なことが確認されただけである。特に再取出しを前提とした定置技術はこれまでにない技術であり、今後も継続的に研究開発を実施する必要がある。今後の研究開発についても言及すべきである。</p> | <p>ご指摘の通り、今回の試験では処分坑道横置きPEM方式の搬送定置・回収技術のコアとなる技術についてのみを抽出し、整備を進めて地下で実証したものであり、より良くするために取り組むべき課題(例えば、効率アップ、遠隔操作など、)については、今後も継続的に高度化を進める必要があります。</p> <p>本試験は現在も実施中であることから、現状では実施した項目のみを記載しておりますが、平成30、31年度の試験結果を反映した、まとめを記載いたします。その際には、ご指摘の点を反映いたします。(今後対応)</p> |

委員からの主なコメントと対応結果

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

| No. | コメント | 対応結果 |
|-----|---|--|
| 1 | <p>(原文 p.88) 3.3 全体</p> <p>(コメント) 本研究は断層に焦点をあてているが、断層以外の割れ目も含めて、URLスケールでDIの分布と透水性の分布とを比較したような図があると良い。特に、声問層と稚内層をまたいで。</p> | <p>3.3.3 (3) の最後に以下の文章を加え、図3.3.3-6を追加しました。</p> <p><u>「現在得られている情報を基に、幌延の地下施設周辺のDIの分布と亀裂の透水性の潜在的な上限を整理すると、図3.3.3-6のように示される。泥岩の場合は一般に、初期応力に対して引張強度が比較的小さく、また、続成作用の影響により岩石の強度も一様でないことから、数百メートル程度の深度差でもDIが有意に変化し得ることが想定される。図3.3.3-6はこれと整合するものであり、高透水性の亀裂が存在し得る領域は、DIの小さな領域(例えば$DI < 2$)に限られると推定される(図3.3.3-6)。このような亀裂の透水性の潜在的な上限の空間的な情報は、安全評価における断層の状態設定のみならず、サイト選定や処分場の設計にも重要と考えられる。」</u></p> |

委員からの主なコメントと対応結果

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

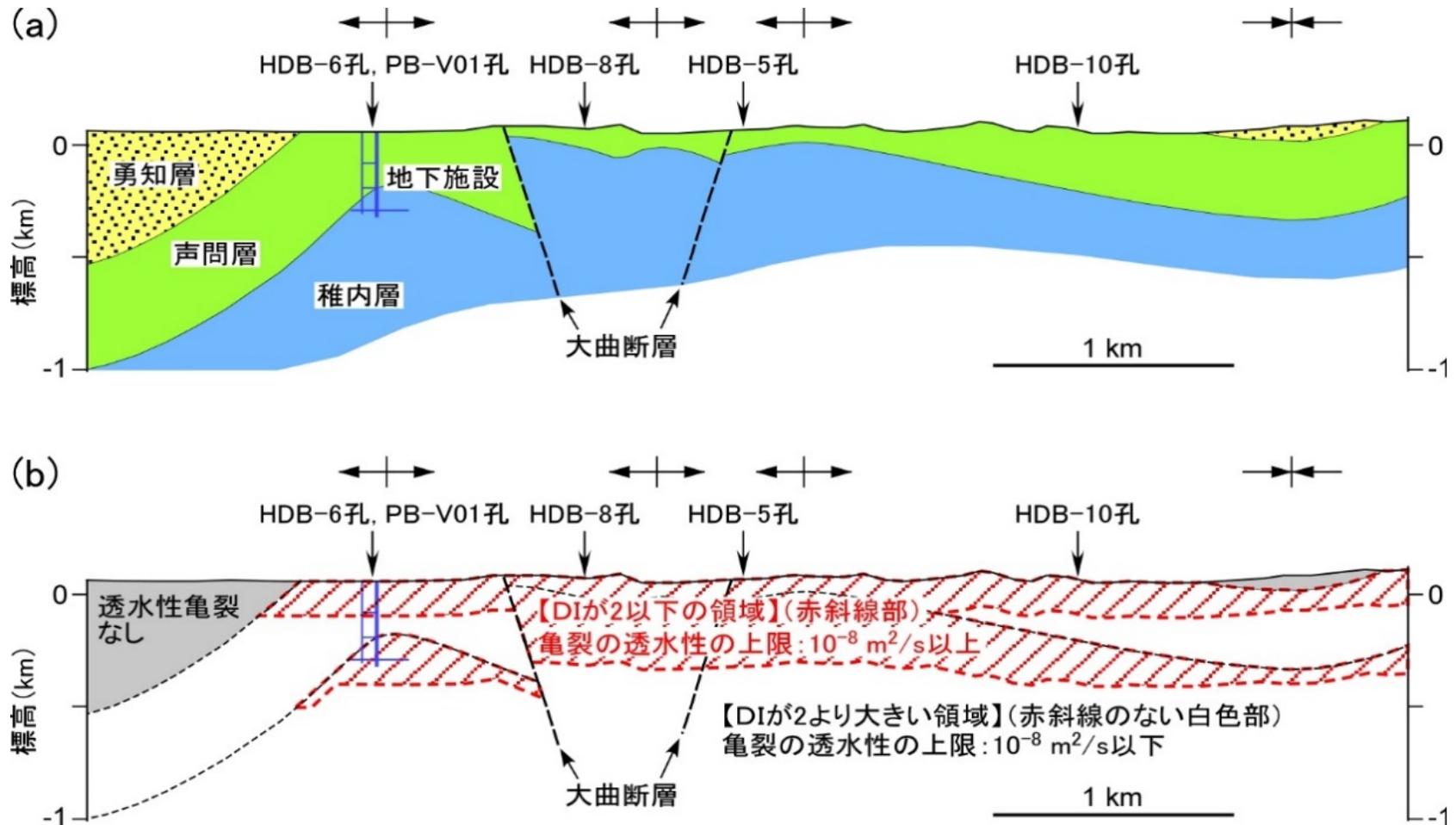


図3.3.3-6

委員からの主なコメントと対応結果

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

| No. | コメント | 対応結果 |
|-----|--|--|
| 2 | <p>(原文 p.88) 3.3 全体</p> <p>(コメント) 我が国に分布する泥岩を比較する場合、応力状態の同じところを考えると、DIは引っ張り強度のみに依存することになるので、DIによる比較は引張強度による比較になってしまう。泥岩を透水性に着目して比較する場合、もっと他のファクターを考えて比較する必要はないか？</p> | <p>DIの大きな利点は、従来と比べて亀裂の透水性の深度依存性を高精度で議論できるようになった点です。DIは平均有効応力を引張強度で標準化したパラメーターで定義されますが、泥岩の場合は岩石の引張強度が比較的小さいため、DIに対して平均有効応力(深度)が高い感度を持ちます。したがって、複数の地域の泥岩を比較する場合、応力状態が同じところ、という条件での地域間の比較が難しく、同一の地域内でも深度依存性を適切に考慮する必要があります。すなわち、引張強度ではなく、あくまでもDIの比較が重要との認識です。</p> <p>頂いたコメントを踏まえ、以下の文章を3.3.3 (3) の最後に追記し、図3.3.3-6を追加しました。「前ページ参照」</p> |

委員からの主なコメントと対応結果

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

| No. | コメント | 対応結果 |
|-----|---|---|
| 3 | <p>(原文 p.102) 3.3.4 原位置試験によるモデルの検証 (3) 成果</p> <p>(コメント) 具体的な成果の記述がないが、結果が期待される。</p> | <p>既に主要なデータは記載済みですが、現在取得中のデータも今後、追加する予定です。 (今後対応)</p> |

ご静聴ならびにコメントを有難うございました。