参考資料　1

科学的知見に基づく地層処分における好ましい地質環境特性について専門家からの御意見

（平成26年1月24日～平成26年2月24日）

※一部の個人情報を除き原文を掲載しております。

※一部の個人情報については意見者の了承の下掲載しております。

1. 氏名 ： 藤村 陽

2. 所属 ： 神奈川工科大学 基礎・教養教育センター

3. 専門 ： 物理化学、地層処分（ただし学術雑誌への投稿論文はありません。）

4. 所属学会 ： 日本化学会、分子科学会、原子衝突学会

5. 連絡先

・住所 ：

・電話番号 ：

・FAX番号 ：

・電子メールアドレス ：

6. 意見

今回意見募集されている資料 1 の p1 の確認事項は、熱環境・力学場・水理場・化学場のそれぞれについて、好ましい地質環境が存在するのか、それらすべてを同時に満たす地質環境が存在するのか、どちらにもとれる余地がある表現となっています。

第 2 次取りまとめ、資料 1 の p11～p19 とも、検討は環境特性ごとになされており、平均として望ましい傾向があるとしても、ばらつきの大きい環境特性もあるので、全体的な確認事項としては、環境特性ごとには好ましい地質環境が存在するといった表現にすべきと考えます。

各特性で好ましい地質環境が「広く存在」すると「考えられる」から、すべてを満たす地質環境も「存在」することを「期待」することはできると思いますが、曖昧に意味を広げた表現にすべきではないと考えます。

7. 引用文献

個別の事項に対する意見ではないので、引用文献は第 2 次取りまとめならびに意見募集対象の資料 1 といたします。

1．　氏名　：　荒木　秀登

2．　所属　：　無職　（元　同和鉱業株式会社勤務）

3．　専門　：　金属鉱山(黒鉱・塊状鉱床）坑内採鉱技術

4．　所属学会　：　元　資源・素材学会（旧　日本鉱業会）

5．　連絡先

・住所：

・電話番号：

・FAXをお使いであれば、FAX番号：

・電子メールアドレス：

6．　意見

当WGおよび原子力発電所再稼働に関わる審査を進めている原子力規制委員会では議論が主に活断層の有無や活動の可能性、火山活動によるマグマの併入可能性などになっています。これらの要素が地層処分設計上、将来ともに重要であることに異論はありません。

さて、今回こうしてパブリックコメントに応募しますのは、それらの議論に加えて岩盤掘削中および掘削完了後の岩盤物性変化とその評価基準について提議したいと考えたものです。（この点、第3回WGにおいて、「定量的なデータが必要」、と発言があったことと趣旨を同じくするものです）

【要旨】

1．　空洞発生に伴って発生する周囲岩盤の亀裂とその経時変化を組み入れた岩盤長期安定性を担保するデータの確保

・硬岩と軟岩（ことにモンモリロナイト系粘土を含むもの）のそれぞれ極端に特性が異なる地質・岩盤について網羅したものであるべきこと。

（なお、第4回 WG における意見への回答で示されたオーバーパックの沈下シミュレーション結果については、グリーンタフ地帯における常時地下水の湧出を伴った高温多湿の坑内採掘現場での知見とかけ離れており、現場経験者の立場からは理解に苦しみます）

2．　硬岩帯の深部地下にあっては「山はね」による周囲岩盤の破壊・亀裂発生、水理変化に対しての評価基準を事前に確立しておくべきこと。（断層帯の掘削は事前に回避できても、「山はね」の回避は困難である。回避する手段として岩盤応力解放のため人為的に岩盤破壊を加える工法があるものの、効果は 100%保証されるものではなく、このこと自体が岩盤に損傷・亀裂を増長させるものである）

3．　掘削中の「異常出水」に対しても事前の評価基準を事前に確立しておくべきこと。

上記、3，4の「山はね」、「異常出水」の生じない地質環境が好ましいことは言うまでもありません

が、これらを完全に回避することは不可能であり、遭遇した場合の評価基準が必要と考えます。

4. 今回のパブリックコメントの範疇とはかけ離れるかも知れませんが、地層処分における掘削・埋設の一連の施工管理における信頼性と透明性について格段の向上を図るべきこと。

【各論】

地下の岩盤では深度に比例して、鉛直方向の地圧が増大するとともに、日本列島の岩盤はプレートテクトニクス理論に基づいた東西方向の水平応力に常時晒されているのが現状です。

とはいえ、当面は見掛け上、安定した状態にあります。この処女岩盤に人為的・強制的な外力を加え、坑道を掘削し、地下に空洞を発生させた場合にはどう変化するのでしょうか。この点についてもう少し検討を進めたいと思います。

また、これに加えて、もう一つの問題として、事前の精密な現地岩盤調査と評価を実施したにもかかわらず、その網目をくぐり抜けた岩盤特性の特異地点のことにも触れたいと思います。

まず、前者の掘削工事による岩盤の物性変化について述べたいと思います。

すでに述べたように、地下岩盤には「岩石の比重×深さ」に相当する鉛直方向の力が働いております。さらには、（案外、見落とされやすい要素ですが）日本列島に固有のプレートテクトニクス理論に基づいた東西方向の水平応力が働いています。これは単純に圧縮方向の力である場合もあれば、先の東日本大地震発生後に観測されたように今まで圧縮方向であったものが逆方向の引張に反転した例もあります。この水平方向の応力が一般的に鉛直方向の応力より大きいことも応力解析をより複雑にしています。

活断層が発生、ないしは活動しないとしても、人為的に岩盤中に空洞を発生させると、直ちにバランスを取り直そうとして、周囲の岩盤は動き出します。

坑道掘削は下記のバーチャル処分場3Dジオラマ

http://www.enecho .meti.go.jp/rw/rikai/virtual/top.html

で紹介されているように、ロータリー式全断面掘削機で行われることでしょう。これは旧来の発破掘削方法よりも遥かに岩盤を痛めることが少なく優れた工法として同感です。

しかしながら大なり小なり岩盤を痛めることには変わりありません。

因みに、この3Dジオラマは途中で動画が停止してしまい、一連の「処分場の埋め戻し」作業のすべてを見ることができません。

（Windows 7 でも Windows 8.1 でも途中で止まってしまいます）

従って、オーバーパックが垂直坑に挿入されたあとの上部空間の処理と水平坑道空間の処理方法が不明であり、このままでは好ましい地層環境について議論を進めるのは適当でないかも知れません。

さて、空洞を開けられた岩盤は応力再配分により変形を始め、動き出します。一般的に賦存深度

が浅く地質年代の新しい堆積岩や凝灰岩のような軟岩であれば空洞は自立できず、潰れていくでしょうし、より深部に賦存する地質年代の古い強固な岩盤であれば自立できる可能性が高いでしょう。

ここで「工学的成立性」の Q&A の下記ページで下記のような説明がありましたので、まず、これについての意見を述べます。

http://www.enecho.meti.go.jp/rw/hlw/qa/safe/safe07.html より

| Q. 処分深度の条件はどう設定したのでしょうか。
|
| A. 設置可能な範囲で比較的深めの深度として、「硬岩系岩盤」で 1000m、
| 「軟岩系岩盤」で 500m に設定しています。
|
| 処分施設の設置深度については、
| ・長期にわたって人間環境と隔離できるか
| ・地質環境が十分な還元性を有しているか
| ・建設・調査技術の現状から対応は可能か
| ・空洞の力学的安定性を確保することは可能か
| ・人工バリアに対する熱的制約はどうか
| などの観点からの概略検討を踏まえ、設置可能な範囲で比較的深めの深度として、
| 「硬岩系岩盤」で 1000m、「軟岩系岩盤」で 500m に設定しています。

この説明ではわざわざ岩盤強度が低いうえに人間の生活環境に近い浅部地下を硬岩系の深部地下と同等に評価しているのが理屈に合いません。 秋田県北鹿地方の黒鉱鉱床の開発はグリーンタフ地帯特有のモンモリロナイト系の粘土が広く分布する軟岩中の浅部地下採掘のため、地下空間維持に難儀し、採掘コストは硬岩の場合より遥かに高くつきました。さらに周辺地盤や水理系の擾乱を誘発し、人間生活環境への影響が少なからずありました。
（地下水位低下による井戸水枯渇、地盤脱水沈下・傾斜など）

さて、人為的な擾乱を受けた岩盤の中には目視できる規模の亀裂もあれば、顕微鏡的な微小亀裂も発生するでしょう。少なくとも岩盤支保を施した坑道で目視できるような変形が観察されれば亀裂の程度は大きいと考えなければなりません。
また、大深度ともなると、時には「山はね」という前兆のない爆発的岩盤破壊現象が発生することを想定内事象として捉えておく必要があります。（この大深度という言葉の定義は、都市の地下開発において用いられる「大深度」と、鉱山や地層処分でいう「大深度」の概念と根本的に異なります。深度の桁が違うのです。）
「山はね」は南アフリカの金鉱山、ダイアモンド鉱山など、深度 1000mを超える鉱山での例がよく知られていますし、日本でも南アフリカほど深度のない鉱山であっても往時、有数の大鉱山や、「かぶり（地表からの深度）」の大きい道路トンネル工事で発生した例が知られています。
注意すべきは深部地下における**「山はね」は活断層の有無とは無関係に発生する**ことです。活断層においてその断層自体が動き出す、という概念とは異なり、「山はね」は全くの処女地帯で発生す

るものです。

地層処分の立地条件としては当然、活断層地帯とは隔離した地域が選ばれることでしょうが、当WGや原子力規制委員会では「活断層」の有無ばかりに注意が向けられて、「山はね」が忘れられているのではないかと危惧しています。

そして**「山はね」という極端な破壊には至らずとも、地下空間開削後の応力再配分により、劣化した岩盤物性および水理系変化を当初期待の設計値とどのように対比するのか、その余裕度とか恕限度とかいうものの判断基準を予め組み込んでおく必要があると考えます。**

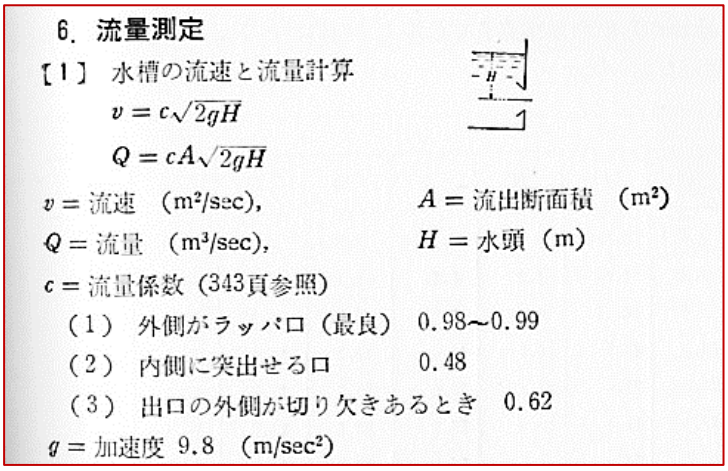
発生してから評価し直すようでは掘削と埋設が同時並行に進行している処分場では混乱を来すことは必至です。

つぎに二つ目の問題提起した件について述べます。

精緻な事前岩盤調査、評価にも関わらず、その網目をくぐり抜ける危険な事象がありうることです。

坑内異常大出水の事例を挙げます。隧道掘削中の大量出水の例は、たとえば映画化された黒部ダムの隧道掘削でも見られました。このほかに、鉱山深部における異常出水の例は各所にあります。

昭和36年4月に岡山県柵原（やなはら）鉱山の地下 450mの深部探鉱坑道で発生した吐出量毎分8トン、吐出圧力毎平方センチメートルあたり17kgの大量出水は、その吐出口の等価面積がわずか直径3～4cmの孔と同等の亀裂から発生し、一時は坑内水没、鉱山放棄の危機にも晒されました。（吐出口面積の推定計算式は次図参照）



6. 流量測定

〔1〕 水槽の流速と流量計算

$v = c\sqrt{2gH}$

$Q = cA\sqrt{2gH}$

v = 流速 (m²/sec), A = 流出断面積 (m²)

Q = 流量 (m³/sec), H = 水頭 (m)

c = 流量係数 (343頁参照)

（1） 外側がラッパ口（最良） 0.98～0.99

（2） 内側に突出せる口 0.48

（3） 出口の外側が切り欠きあるとき 0.62

g = 加速度 9.8 (m/sec²)

出典：実用鉱山設計便覧
緒方乙丸著
朝倉書店刊
S37/8/25 再版 p 357

この深部探鉱坑道は断層破砕帯を突破する計画で、当初から掘進時の出水を警戒し先進調査ボーリングを行い、亀裂存在などの異常のないことを確認しながら進んだものの、その調査を漏れたわずかな亀裂から大量出水したものです。

しかもここから十数m離れて平行に掘削した坑道は、当該断層破砕帯を横断したにも拘わらず、

何ら出水・崩落の異常なく無支保で無事通過しています。
　この大量出水した坑道は部厚いコンクリート・ダムで閉鎖し、以降、平成３年３月の閉山に至るまで水圧の変動を監視続けましたが、この期間、水圧の減少は殆どありませんでした。
（閉山までの全期間、柵原下部鉱体全域からの坑内排水として毎分3トン以上を汲み上げ続け、これによる地下水位低下も発生した）

　坑内出水の源は「化石水」と呼ばれる岩盤中に独立して取り残された地下水で、湧出し尽きれば枯渇するタイプのものもあれば、「自由地下水」として水源を追跡できない無限の湧出源をもつタイプのものもあります。
（**上記柵原鉱山の場合は、結局、この水源を特定できない無限のものでした**）

この「化石水」にせよ、「自由地下水」にせよ、こういう隠れた地下水脈に遭遇した場合、当該地層処分地域の岩盤特性、地下水理はどのように評価し数値化すべきでしょうか。あるいはその地域を地層処分不適合地域として放棄する場合の基準値はどのように決められるのでしょうか。これらを「想定外」事象として最初から除外することなく、予め体制を整えておくことが必要と考えます。 鉱山では短期決戦をむねとし、ともかく採掘活動を無事終えるために採算の合う範囲であらゆる可能な手段で突破しますが、地層処分という超長期的な安定を期待される場合では全く異次元の厳しい評価のもとで進められるべきと考えます。

　最後にこれら二つの事象に共通する重要な要素を挙げ、私の今回の意見を締めくくらせていただきます。

　それは工事の品質管理の問題です。近年、公共工事において手抜きや偽装による人身事故・無災害事故が複数、発生していることは記憶に新しいところです。工事担当者にあっては、失敗や事故は隠ぺいしておきたいのが偽らざる心理でしょう。
　ところが地下建設工事ほど手抜き・偽装工事の発生し易い環境にあるものはありません。地上設備建設においてはトラブルが発生すれば即、衆目環視の的となるところですが、これがこと地下となると、人目が届かないため状況は一変します。
　工事の設計・施工・管理が一貫した情報公開のもとに進められない限り、仕上がった工事品質はまったく信頼のおけないものとなり、過去数十年の叡智を結集した結果が無用の長物となってしまいます。

**　最近、秘密保護法の制定がなされましたが、地層処分体系と、こういった法令との関係についても充分論議を進め、国民全てが納得できる体系に仕上げておく必要があると考えます。**

　この具体的な展開・実現方法については、本WGが扱う技術的課題と次元を異にするので、ここでは割愛しますが、過去にも設備災害の多くがヒューマンエラーに起因していることを充分認識し、設計思想が完全な形で実現されるよう、老婆心ながら敢えて提言させていただきました。

****

参考文献:

http://ci.nii.ac.jp/naid/110002295344 :

岩盤内の地山応力と地学的に推定される地殻応力との関連について:

第4回岩の力学国内シンポジウム講演集, 157-162

平松良雄・岡 行俊・伊藤英文・田中 豊 (1973)

http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi_tohoku2.html:

東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動:国土地理院

鉱山における「山はね」や「坑内異常出水」の事例については、日本鉱業会誌(現在の資源・素材学会の前身)に報告があります。すでに閉山された鉱山の資料となります。
(手元にないので、号数については不明です。資源・素材学会にはバックナンバーがあります)

キーワード:佐々連(さざれ)鉱山、山はね、柵原(やなはら)鉱山、餌釣(えづり)鉱山 小坂鉱山、上向(うわむき)鉱床、坑内出水、坑内排水

http://h2o.sakura.ne.jp/bessi/Qbessi/00data/datayougo.html

:別子(べっし)鉱山用語集・・・「山はね」など掲載

http://en.wikipedia.org/wiki/Rock_burst

:rock burst(山はね)の定義など

http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00019/2008/37-0001.pdf

:「山はね」の参考文献

第 37 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集

(社)土木学会 2008 年 1 月 講演番号 1

http://www.geophysik.at/input/Induced_Seismicity/AGS_A3_Mining.pdf

:「山はね」の参考文献 Seismicity in Deep Mines:Wolfgang A. Lenhardt,

Department of Geophysics, Central Institute for Meteorology and Geodynamics

Hohe Warte 38 A-1190 Vienna Austria

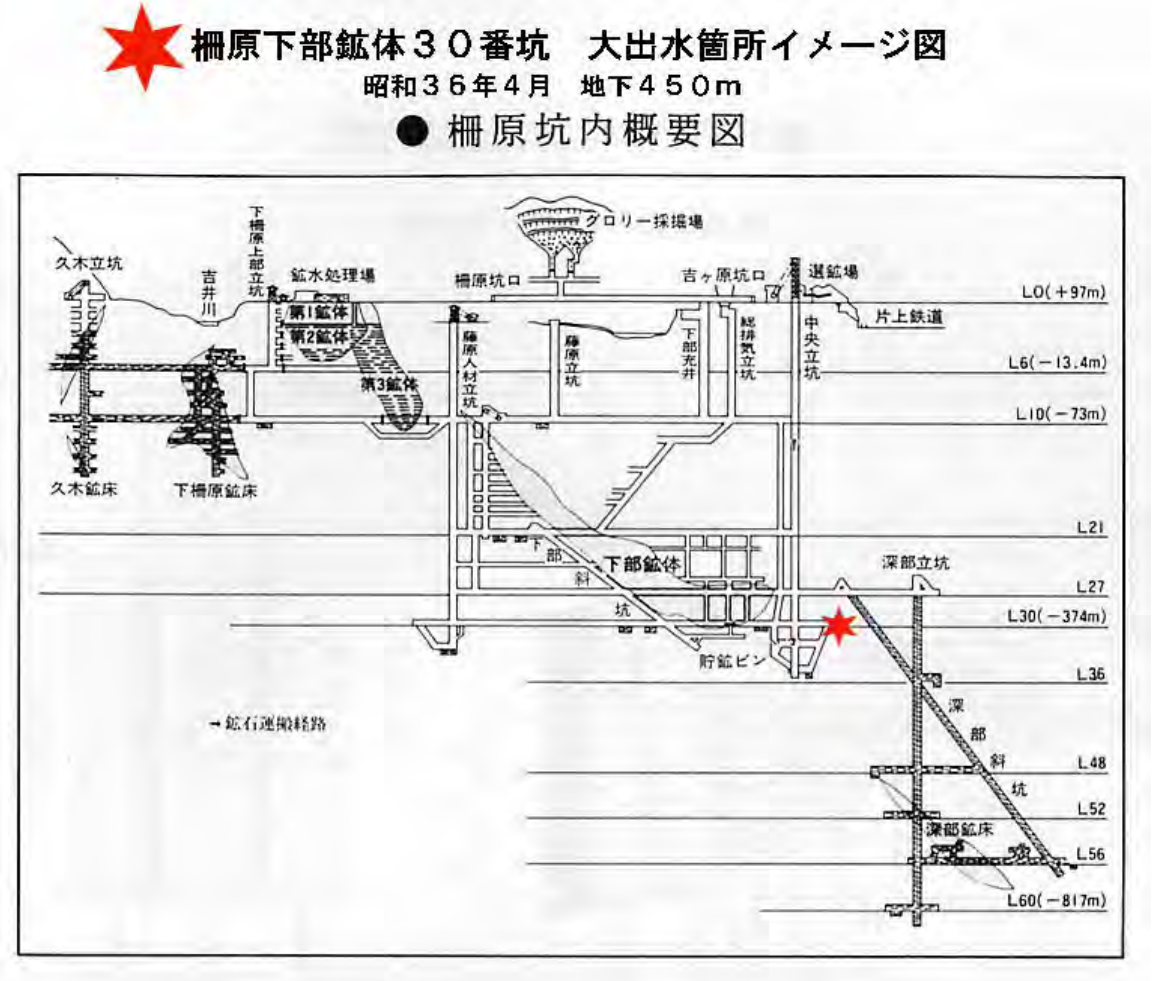
★ 「山はね」の研究内容は、発生の予兆をキャッチするとか、予兆があれば山が跳ねる前に人為的に破壊をして応力を開放するといった方法にとどまっており、いずれにしても岩盤に亀裂を発生させることには変わりがありません。

(人が岩盤破壊を防止することは所詮、不可能なのです)

栅原（やなはら）鉱山の大出水関連資料

：栅原鉱山顕彰誌（栅原鉱山顕彰会　平成4年12月1日発行）

（次図は上記顕彰誌より一部加工して転載）



1. 氏名 ： 伊達 二郎
2. 所属 ： 元同和鉱業㈱勤務
3. 専門 ： 地質学、鉱床学
4. 所属学会 ： 資源地質学会員、東京地学協会員、元地質学会員、元地熱学会員
5. 連絡先
   ・住所：
   ・電話番号：
   ・FAX をお使いであれば、FAX 番号：
   ・電子メールをお使いであれば、そのアドレス：
6. 御意見

私の意見は貴方から提供された資料に対する単なる疑問ですので、私の主張を裏付けるような適当な引用文献は見当たりませんでした。疑問は2点あります。

（1） 緩衝材の膨潤に関する実験検討が不十分ではないかという意見です。地層処分技術ワーキンググループ第 4 回配布資料から膨潤に関し、その根拠とされる実験としては、松本・棚井(2005) 、小峯ほか(2013)が認められましたので、それらに対する私見を以下に記します。

（1－1）松本・棚井(2005)の実験装置における給排水孔と浸出域測定の関係などについて細部構造が良く解りませんが、装置中の模擬亀裂幅が 1.5mm とせまく、膨潤試験後においてベントナイト供試体本体の密度はほとんど変化なく、亀裂から侵出した部分の密度は大きく低下したが量的には僅少と報告されています。これは亀裂幅が狭すぎたために、いわゆる「目詰まり」と同様の現象を起し、膨潤が途中でストップしたという可能性はないのでしょうか？ 実験のために供試体が小さいとはいえ、亀裂幅をある一定限度より狭くするのは「目詰まり」の原因となり不都合ではないでしょうか？ また、侵出した部分は少量かつ密度が小さく、残存の供試体本体は密度変化ほとんどなしというのは、膨潤が「自己シール（換言すれば目詰まり）」によって途中で妨げられたという証拠になるのではないでしょうか？ 現実に、亀裂というのは強度的に弱い部分が網目状になって生成される場合が多いので一様ではなく、従って「自己シール」も一様ではないと思われますので、膨潤が始まると亀裂が拡大する部分と自己シールによって目詰まりを起こす部分が生じ、結果的に膨潤が全体的に進行するのではないでしょうか？ 従って、現実の一様でない状況を実験で説明するためには、残存の供試体本体の密度が低下するまで膨潤を進行させた結果を使用すべきではないでしょうか？ 少なくとも強度的に弱い部分が膨潤によって破壊されず、従って亀裂幅が拡大されないということを証明する必要があるのではないでしょうか？

（1－2）また小峯ほか(2013)については、「自己シール」の検証が目的と思われます。この場合も実験装置の細部構造が良く解りませんが、給水口は1孔のようです。実験では注水期間 17 日目で最大（条件によっては異なる）、浸漬期間 2 ケ月とかなり長時間を要

していますし、測定土圧（膨潤圧）も 17 日目頃（条件によって異なる）が最大となっています。これは「自己シール」によってベントナイトの水分吸収（すなわち膨潤）が途中（17 日目頃）で妨げられたという事だと思います。「自己シール」というのは多数発生する亀裂のそれぞれの場所における膨潤過程の１通過点に過ぎず、地質学的環境下では極めて不安定であり、何万年もの間「自己シール」状態が維持されるとは考えにくく、緩衝材全体にまで膨潤がおよぶことを想定すべきではないでしょうか？

（１－３）地層処分技術ワーキンググループ第４回配布資料・資料2の 18 頁に「最も影響が厳しいと考えられるのは、廃棄体を横切るように、断層が変位する場合である。」という想定を行っています。緩衝材が断層のような変位に遭遇すれば、松本・棚井(2005)や小峯ほか(2013)が実験の中で想定するよりはるかに広い範囲、すなわち面的にベントナイトが水分を吸収し、緩衝材全体が膨潤をきたし、従って全体が低密度化すると思います。従って、膨潤が「自己シール」によって中途で妨げられた時点までの検討ではなくて、吸水が完全に進んだという時点までの確認実験を行う必要があるのではないでしょうか？　現実に地下の断層によって緩衝材が切断されるような状況を、私の鉱山現場における経験から考えるならば、膨潤によって亀裂幅の拡大（更なる地震動による場合もあるでしょう）と更なる膨潤・侵出が繰返し発生し、「ぐちゃぐちゃ」状態になると思います。従って、膨潤が「自己シール」により途中でストップするというような実験結果は、非現実的だと思います。このような「ぐちゃぐちゃ」状態下ではオーバーパックが緩衝材最外部に至るというのは十分に可能であると思います。

（２）私は鉱山現場で断層の両側のボーリングデーター多数から断面図を作成したところ、地層毎のズレが下部程（古い地層程）大きくなっておりました。すなわち断層というのは、地震動が発生するたびにその落差を拡大させていくということです。前述の資料2の 18 頁の断層のような変位によって緩衝材が少しでも切断されてしまえば、その落差は1度の変位では数十 cm 以下であっても、複数回の地震動によって落差が増大する可能性があると思うのですが。日本のような地震大国では地震のたびに少しづつ多数回にわたって変位を繰り返し、大きな落差を生みだすのではないでしょうか？ 「現在、いくら大きな地震が発生しても、それによって引き起こされる断層の垂直的変位が 1m を越える場合は滅多にない。しかし、地質断面図上では断層変位が数百ｍを越える場合も珍しくない。それは、何故か？」という疑問をよく耳にしますが、私は地震の度に落差が少しづつ増大し地質学的時間スケールがそれを可能にしたと考えます。

7．　引用文献

(1) 松本一浩・棚井憲治(2005)；緩衝材の流出・浸入特性(Ⅱ)－幌延地下水(HDB-6 号孔)を用いた緩衝材の浸入特性評価－. JNC TN8400 2004-026. pp3-41.

(2) 小峯秀雄・長田徹・高尾肇・植田浩義(2013)；高レベル放射性廃棄物処分施設の縦置き孔模型実験における緩衝材発生圧力の予測・評価. 土木学会誌 C(地圏工学)、Vol. 69、No. 1, pp108-117.