地震・断層活動による地質環境への影響

第30回バックエンド夏期セミナー

2014年8月7日

原子力発電環境整備機構（NUMO）
技術部　鈴木　覚

報告内容

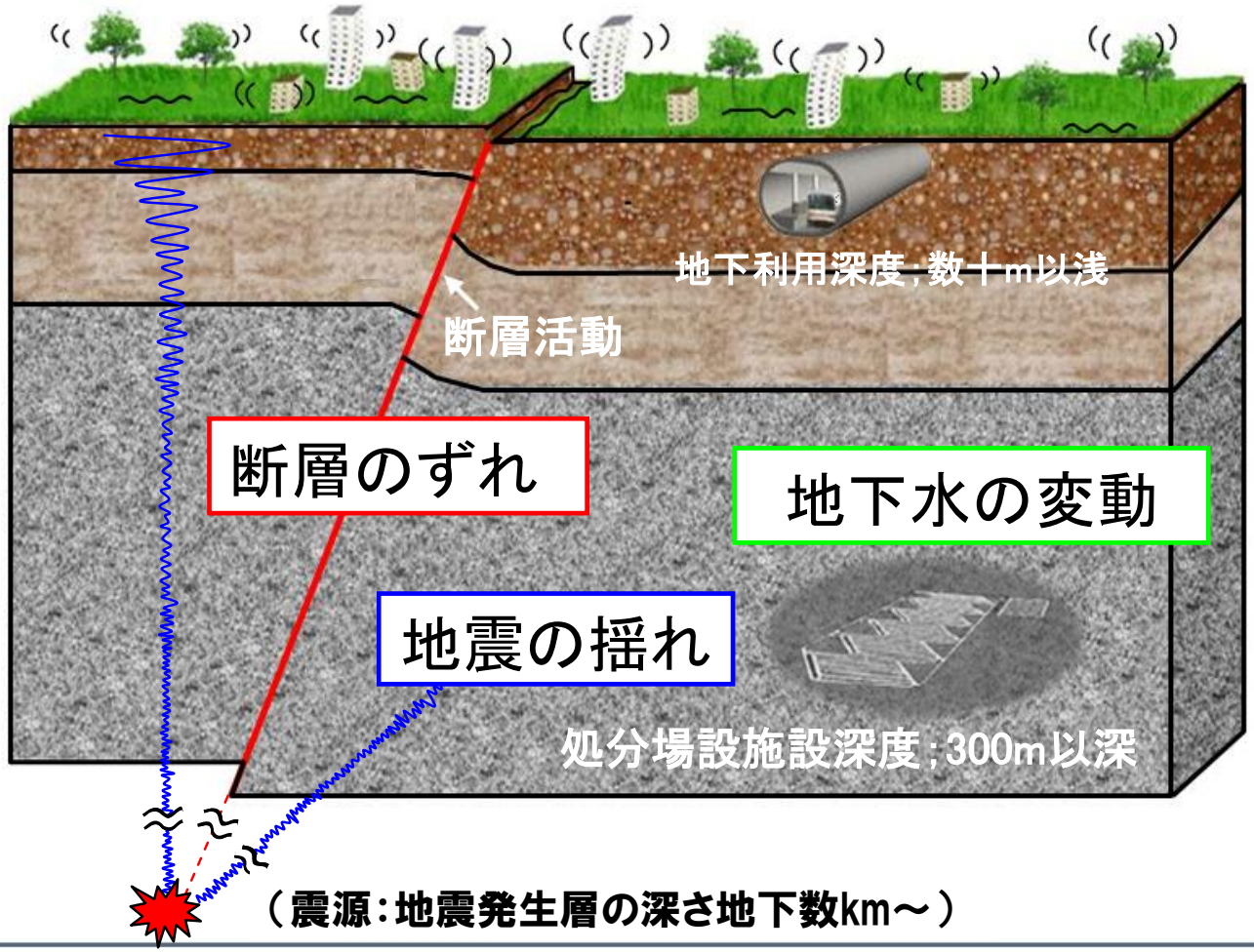
地震・断層活動の地層処分システムへの影響に対する取り組みとして，地震に伴う地下水の変動に関する検討内容を報告。

1. 背景，検討目的と検討内容
2. 地震に伴う地下水の変動の現象理解
3. 地下深部の水理場への影響評価方法の検討
4. まとめと今後の取り組み

1. 背景，検討目的と検討内容

地震・断層活動の地層処分システムに対する影響

地震・断層活動の処分システムに与える影響要因を**「断層のずれ」**，**「地震に伴う地下水の変動」**，**「地震動（地震の揺れ）」**の3つに大きく分類して，技術的な検討を実施。



地震・断層活動の影響に対する取り組み

「断層のずれ」

✓ 断層の“ずれ”が直接処分場に達した場合，人工バリアが力学的影響を受ける可能性がある。活断層*1の影響範囲をサイトから回避することが必要*2。そのため，断層の調査・評価手法の信頼性を向上させる。

「地震に伴う地下水の変動」

✓ 地震に伴う地下水の変動について，地層処分システムに対する影響評価し，有意な影響がある場合には，その影響を低減できるよう対策を検討する。

「地震動（地震のゆれ）」

✓ 地震の“ゆれ”による人工バリアに対する力学的影響について評価し，有意な影響がある場合には，その影響を低減できるような対策を検討する。（影響評価結果について次の発表で報告）

*1 活断層：「過去数十万年間に繰り返し活動し，将来も活動する可能性のある断層」
*2 地層処分における断層調査の目的は，将来の地震を“予測”することが目的ではない。

第2次取りまとめの見解とその後の進展

地震に伴う地下水の変動に関する第2次取りまとめの見解

- 野島断層の活動に伴う湧水は，地下深部に由来する地下水ではなく，**地表付近の地下水**と考えられる。したがって，断層活動に伴う水理学的な変化は，主に地下浅部で起こり，**地下深部での影響は小さい**ものと推察される。

（第2次取りまとめ，第1分冊　p.II-45）

- 釜石鉱山における調査結果によれば，地震前後の地下水流動や水質の変化は，季節変化などの経時変化に比べて小さい。
- また，仮に大きな地震があったとしても，その**変化は一時的であり，数ヶ月後にはもとの水位に戻る**と思われる。
- したがって，地震による地下深部の地質環境への変化は，**地層処分システムに大きな影響を与えるものではない**と考えられる。

（第2次取りまとめ，第1分冊　p.II-45）

その後の進展

- 東北地方太平洋沖地震後，地下水の変動について，さまざまな現象の報告があった。
- 国内外で地震と地下水の変動について，現象とメカニズムを体系的にとらえようとする学術的な研究が進展している（Wang and Manga, 2010; 小泉，2013）。

検討目的と検討内容

検討目的：地震に伴う地下水の変動に関する現象理解に基づいて，同様な現象が将来発生した場合の地層処分システムへの影響について再度検討し，影響評価手法を整備する。

検討の流れ

地震に伴う地下水の変動に関する現象理解

↓

地下深部の地質環境に対する影響の評価

↓

地下施設レイアウトなどによる対応の検討（必要性の判断を含む）

↓

性能評価への反映

（2013年度の検討内容）

✓ **地震に伴い発生する地下水の変動とはどのようなものであるか？**

- 東北地方太平洋沖地震，福島県浜通り地震に伴う地下水の変動について継続的な文献情報の収集・分析

✓ **地層処分にどの程度の影響を与える可能性があるか？**

- 上記の観測事例に基づいて，地下深部の水理場に与える影響評価手法の検討

（昨年度報告会での報告内容）

✓ **地震による地下水変動が繰り返し発生する場合の核種移行解析手法の開発**

- 残された技術開発テーマ：地下水位の変化などの現象と解析で設定する動水勾配の変化の関係の定量化手法

２. 地震に伴う地下水の変動の現象理解

地震に伴う地下水の変動の現象理解

地震に伴う地下水の変動の現象に関する文献情報を収集し，
以下の3つの現象に分類

- 地下水位の変化（上昇・下降）
- 湧水
- 温泉の湯量や水質・水温の変化

本報告では，2011年東北地方太平洋沖地震，2011年福島県浜通り地震について説明

2011年3月11日 東北地方太平洋沖地震における観測（1）

●地下水位の変化（上昇・下降）

・大野ほか（2012）：青森県下北半島地域での地下水位の変化，12地点，地下水位32～88cm
・香川ほか（2012）：千葉県内の観測井での地下水位の変化，148地点，地下水位0.3～1m低下
・Niwa et al.（2012）：中部日本での地下水圧の変化，15孔，間隙水圧3～4m変化
・産総研HP WellWeb：西日本での地下水位の変化，82観測データ（下図）

第2次取りまとめ時の知見に比べ，地下水位の変化が長期にわたり継続しているケースが2例あった。ただし，温泉地を除く多くの地点で，水位の変化は数m程度の範囲であった。

2011年3月11日 東北地方太平洋沖地震における観測（2）

●温泉の湯量や水質・水温の変化

- 大塚ほか（2011）山梨県及び栃木県の温泉での水位・水質変化
- 堀川（2012）：茨城県内の温泉（源泉）の変化，15地点，地下水位0.7～25.3m変化
- 菊川ほか（2012）：神奈川県箱根湯本温泉の水温，揚湯量の変化（下図）
- 川辺，中野（2013）：東北地方の温泉の湯量，水温の変化，約40地点，約20地点で水位が変化

地震と温泉の湯量や水質・水温の変化の関係については，以前より多くの報告がある。

2011年4月11日福島県浜通り地震における観測（2）

（1）地下水位の変化（上昇・下降）

- 断層の西側あるいは南側では地下水位が低下，北側あるいは東側で水位は上昇（産総研，2012）
- 2011年東北地方太平洋沖地震後にいわき市湯本地区の温泉井戸で約10 mの水位低下があったが，2011年4月11日福島県浜通りの地震後に約20 mの水位上昇に転じている（佐藤ほか，2011）。

（2）湧水

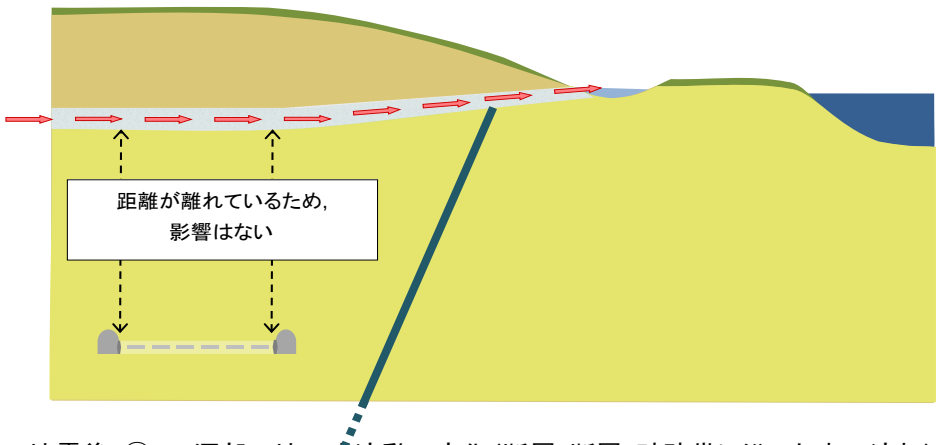
- 住宅地より，約27℃の地下水が新たに湧出（産総研，2012）。
  - 最近まで毎秒2～5リットルで推移（産総研，2012）。湧水量は夏に増加し，冬に減少する傾向がみられる（佐藤，私信）。

- 炭鉱の通気立坑跡から多量の温泉水が湧出（内田ほか，2011）。湧出量は毎分3.0 m^3（毎秒50リットル相当），温度は45～50℃で，その後，減少傾向（全国さく井協会，2012）。

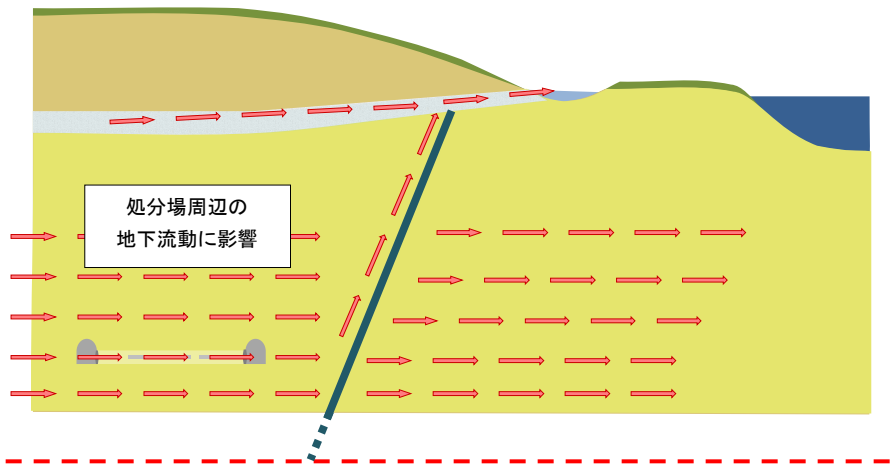
３. 地下深部の水理場への影響評価方法の検討

地層処分システムへの影響評価手法の検討（1）

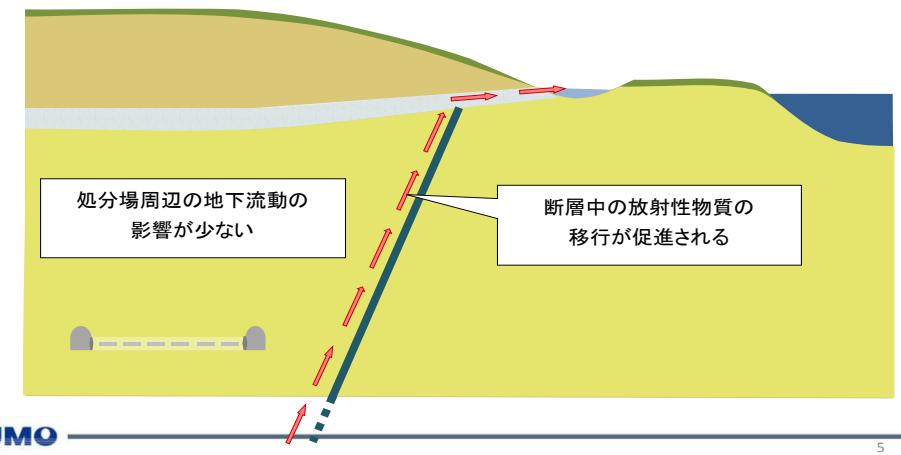
地震後：①表層の地下水流動の変化



地震後：②－2深部の地下水流動の変化（処分場を通過する流れ）

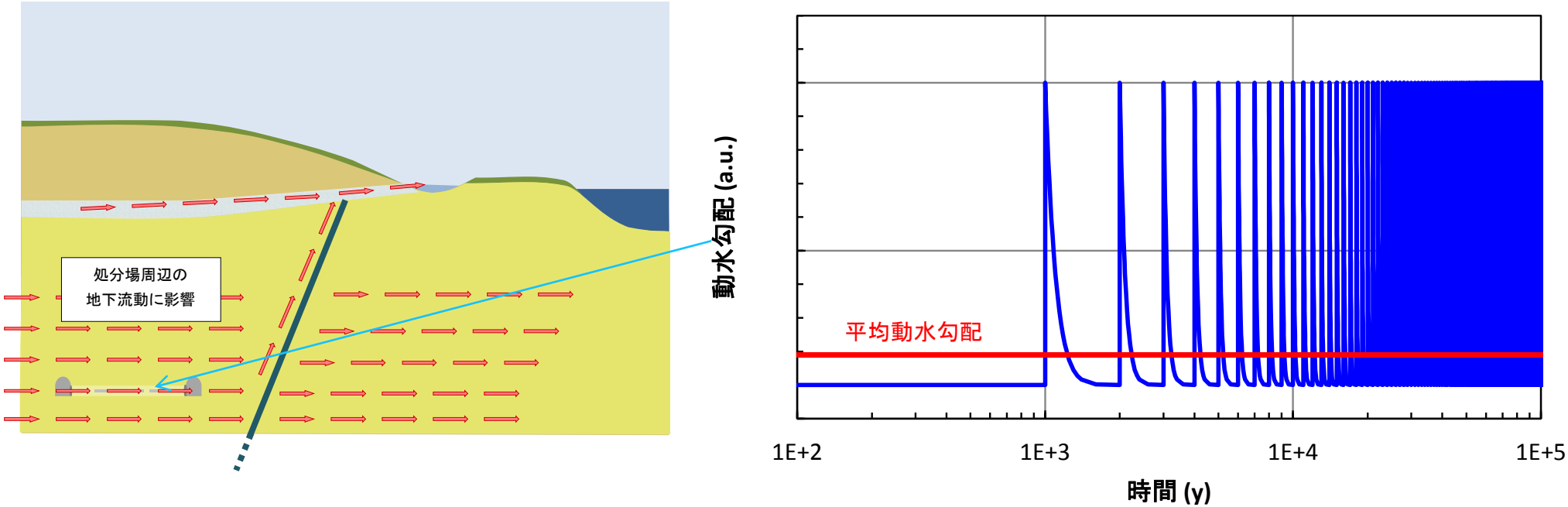


地震後：②－1深部の地下水流動の変化（断層・断層・破砕帯に沿った水の流れ）



（2013年度報告会）
地層処分施設周辺の地下水の流れが増加し，かつ断層の流れも上昇したケースの影響評価方法を検討。

地層処分システムへの影響評価手法の検討(2)



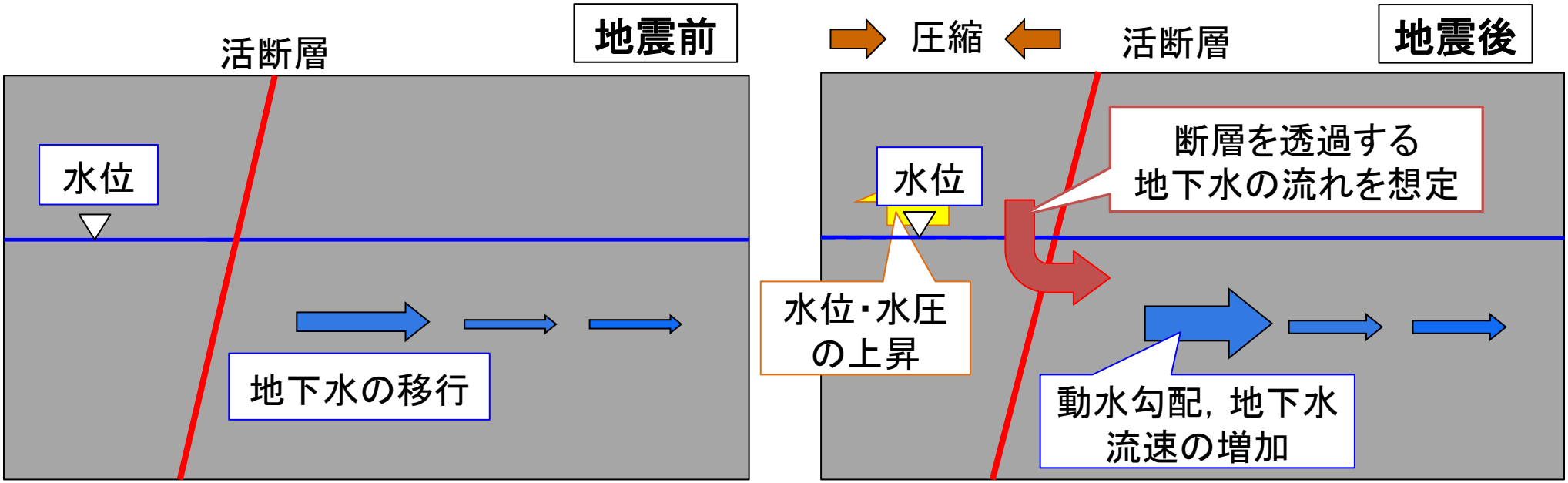
- 岩盤の圧縮または展張により地下水流動ポテンシャルが変動する→動水勾配の変化として表現
- 動水勾配は，時間的に変化するものとし，動水勾配(水頭差)の上昇と低下が周期的に生じるものとする

- 地下水位の変化と動水勾配の関係？
- 地下水位の上昇が地下深部の地下水流速および動水勾配に与える影響評価手法(水理解析手法)の検討

地下水位の変化の影響評価手法の検討（1）

想定した現象

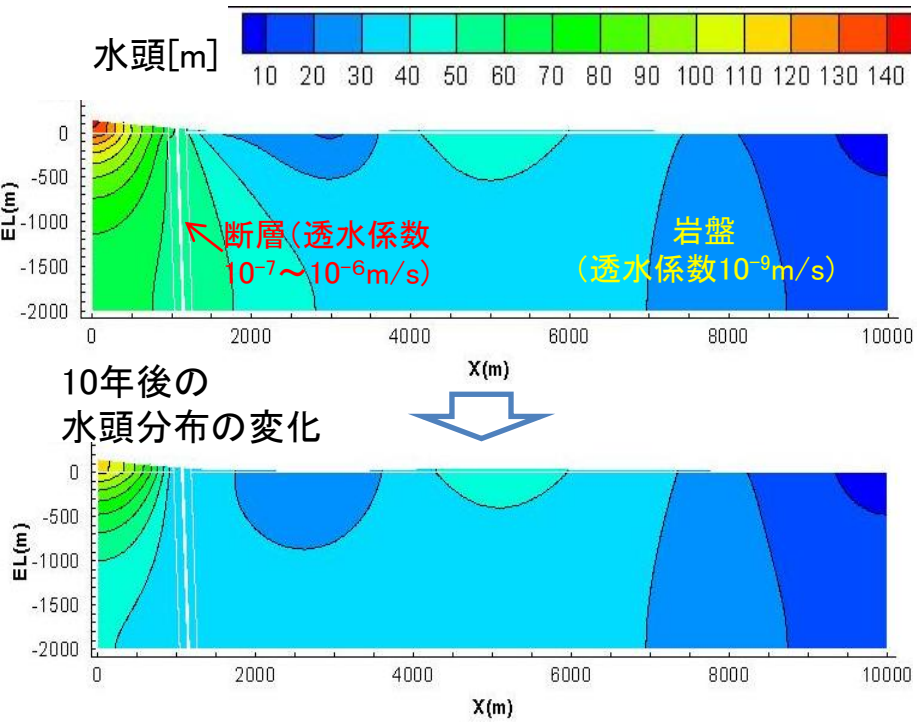
内陸部で地震が発生し，断層のずれにより岩盤が圧縮され，地下水位が上昇し，その結果，水位が高くなった岩盤から相対的に低い岩盤に地下水が流れることを想定する。

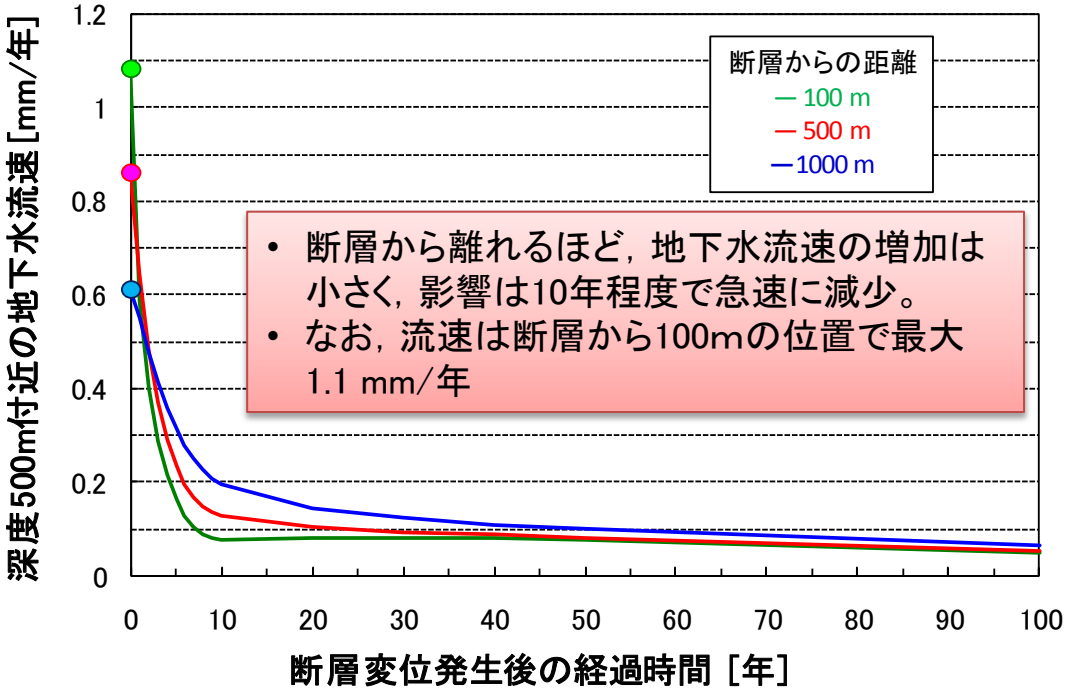


□内陸型地震における地下水位の上昇量の観測事例に基づく設定

- 2011年東北地方太平洋沖地震後にいわき市湯本地区の温泉井戸で約10 mの水位低下があったが，2011年4月11日福島県浜通りの地震後に約20 mの水位上昇に転じている（佐藤ほか，2011）。このことを考慮して**約30 mの水位上昇を設定**した。

地下水位の変化の影響評価手法の検討（2）

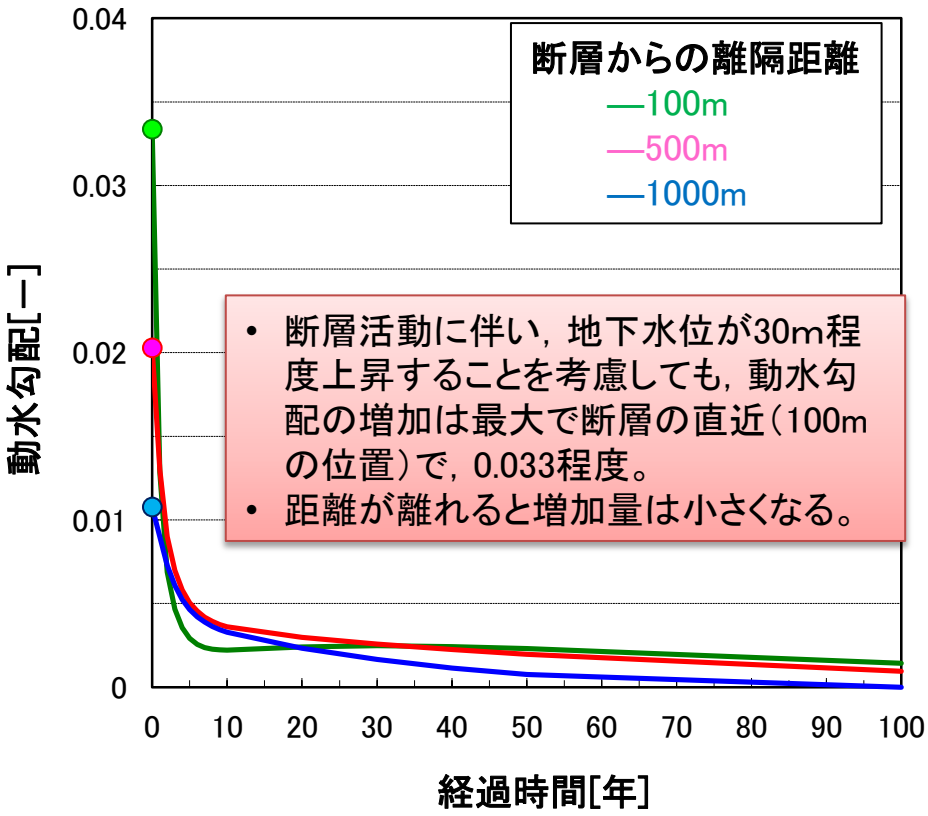




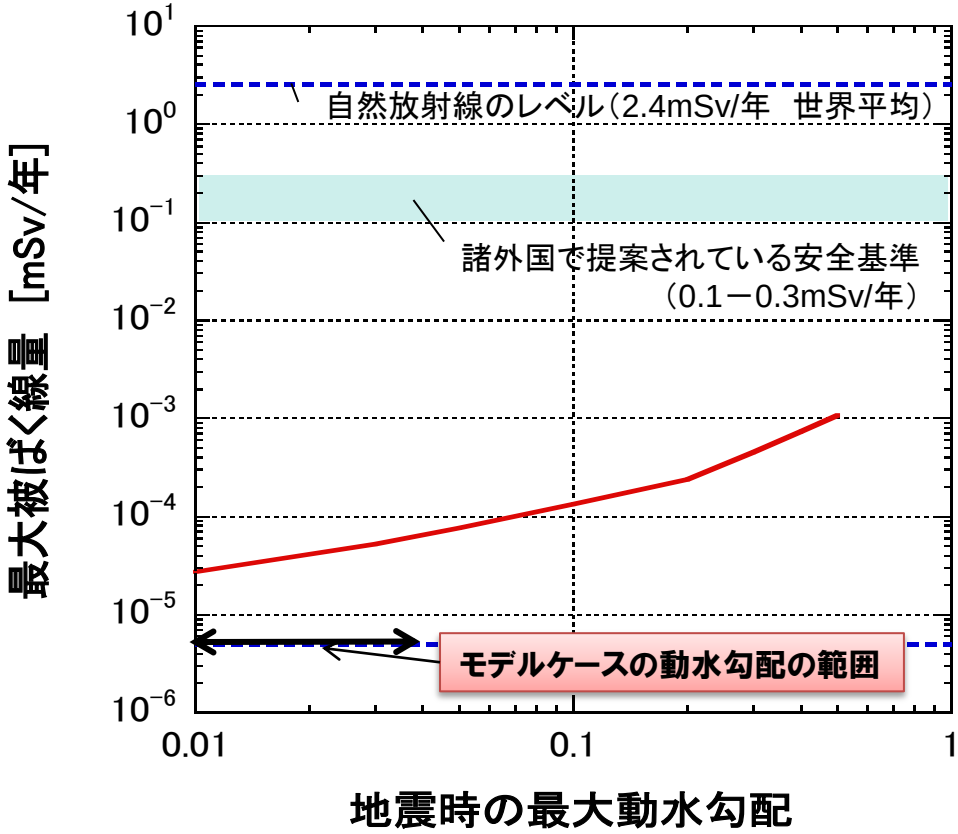
- 地下水位の上昇は，一時的なものであり，地下水流速の上昇は小さい可能性がある。
- 実際のサイトでは，地形・地質構造はモデルケースより複雑であり，そのような状況を反映して，影響を確認する必要がある。

地層処分システムへの影響評価への反映

繰り返し地震が発生し，地下水が変動（動水勾配）することを想定した核種移行解析に，岩盤のひずみに伴う地下水位の上昇のモデルケースを適用



- 断層活動に伴い，地下水位が30m程度上昇することを考慮しても，動水勾配の増加は最大で断層の直近（100mの位置）で，0.033程度。
- 距離が離れると増加量は小さくなる。



- モデルケースのような局所的な30mの水位上昇の影響を考慮しても最大被ばく線量の増加は数倍程度である。
- 断層からの離隔距離を大きくすることで，影響を低減することは可能。

４．　まとめと今後の取り組み

まとめ

地震に伴う地下水変化の観測事例に基づいて，地震に伴う地下水の変動が地層処分システムに与える影響評価方法を検討した。

●地震に伴う地下水の変動の現象理解

- 2011年3月11日東北地方太平洋沖地震，および同年4月11日福島県浜通り地震に伴い，地下水位の上昇・低下や，湧水，温泉の湯量や水温，水質変化が報告されている。

●地下深部の水理場への影響評価方法の検討

- 岩盤のひずみに伴い，地下水位が30m上昇したことを想定して，地下深部の地下水流速や動水勾配に与える影響について，水理解析により解析する手法を検討した。
- モデルケースの解析では，地下水流速，動水勾配は，断層の直近100mの位置で一時的に10倍程度増加するが，10年以内に急速に減少し，その後ほぼ回復した。
- これらの変化を考慮して地層処分システムへの影響を評価したが，著しい影響は認められなかった。

地震に伴う地下水の変動に関する今後の技術的取り組み

■今回検討した水理解析技術を基本とした影響評価手法については，観測事例を用いた適用性の検討事例を増やすことで，さらに信頼性を向上させていく必要がある。

- 福島県浜通り地震や松代群発地震の湧水ケースなど，さまざまな地下水位の上昇以外の現象についても，観測結果と水理解析結果の比較による，評価方法の適用性の検討が必要である。

■福島県浜通り地震の湧水事例は，継続期間が長いことから，今後も情報収集を継続する必要がある。

ご清聴ありがとうございました。