

## 地震・断層活動による地質環境への影響

鈴木寛\*1 牧内秋恵\*1 國丸貴紀\*1 稲垣学\*1 藤原啓司\*1

原子力発電環境整備機構では、地震・断層活動の地層処分システムに対する影響のうち、地下水流動場（地下水位、地下水経路と流速）に対する影響についてその評価方法の開発に取り組んでいる。これまで地震・断層活動に伴う地下水の変化は、一時的であるため、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ていた[1]。しかし、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震およびその後の地震により、湧水が1年以上継続するなどの事例が報告されている。そのため、これらの観測事例に基づいて、地震が繰り返し発生し、地下水流動場が周期的に変化することをモデル化し、評価する技術の検討状況について報告する。

**Keywords:** 東日本大震災, 地層処分, 閉鎖後長期安全性

NUMO has developed the evaluation methodology of the influence of earthquake and fault displacement on the hydraulic properties of deep geological formation, after the great east Japan earthquake. As the large earthquake may occur periodically in Japan, we are trying to establish the model for the such periodic change in water flow induced by earthquake and apply to the performance assessment of the geological disposal system.

**Keywords:** Great East Japan Earthquake, geological disposal, performance assessment

## 1 緒言

原子力発電環境整備機構（以下、NUMO）では、地層処分事業の安全確保に向けた取り組み方針と、地層処分を支える技術の整備状況を、技術報告書「地層処分事業の安全確保（2010年度版）」（以下、2010年技術レポート）として取りまとめた。2010年技術レポートの取りまとめの最終段階であった、2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震が発生した。さらに、福島第一原子力発電所事故が発生し、多くの方が避難する事態となった。

これを踏まえ、地震・断層活動が地層処分システムに与える影響について検討した。

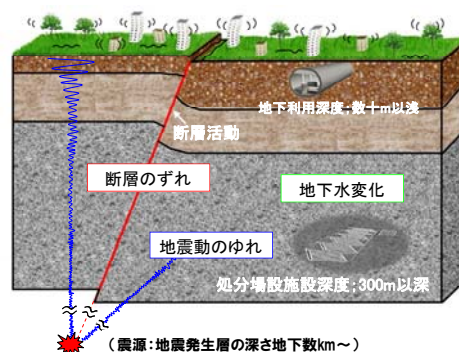
## 2 閉鎖後長期の安全確保に関する取り組み

東北地方太平洋沖地震後、断層が多い日本での地層処分は可能かどうか疑問が寄せられている。そこで、地震・断層活動が地層処分システムに与える影響要因を「断層のずれ」、「地震動のゆれ」、および、岩盤のひずみの変化などに伴う「地震に伴う地下水変化」に分類（Fig. 1）し、これらに対する安全確保の考え方を述べる。

「断層のずれ」が地層処分場に直接達した場合、人工バリアが損傷する可能性がある。したがって、将来にわたり活動する可能性がある断層として、活断層の分布を把握し、その直上に地層処分施設を設置しないようにすることで安全性を確保する。

「地震動のゆれ」については、大きな地震を想定した振動試験および解析[2]により、地震動のゆれの影響によって人工バリアが損傷しないことを確認する。

「地震に伴う地下水変化」については、地震後、数週間から数ヶ月程度で収束すること、およびその変動幅が小さいことから、地層処分システムに与える影響は小さいと考えている[1]。



**Fig. 1** Schematic view of influences of earthquake and fault movement

これらの3つの現象については、現在も東北地方太平洋沖地震の観測結果などに基づき、考え方の妥当性について確認を進めているところである。

このうち、地震に伴う地下水変化については、東北地方太平洋沖地震後、広域で地下水位（水圧）の変化が観測されていること、および、その変化の期間が従来の観測よりも長いこと、さらに、その後の余震に伴い、新たな湧水が発生することなどが報告されている。これらのことから、本講演では、この現象に関する検討状況について述べる。

## 2.1 広域的な地下水特性の変化

東北地方太平洋沖地震に伴う観測井戸の地下水位の変化は3m未満であり、地震発生時を含む期間の変動範囲（水位の最低値と最高値の差）は数m程度である。今回の地震に伴う地下水位の変化はこの変動範囲に含まれる。

東北地方太平洋沖地震前の知見や見解では、地下水位の変化は一時的であり、数ヶ月後にはもとに戻るため、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ていた[1]。

同地震の後の知見の追加として、産業技術総合研究所 Well Web[3]にある観測データ（約70）のうち、26データに関して、地震後に地下水位の変化が認められた。水位変化量は±3m以内で、多くの地点で2～16ヶ月後には回復していた。

しかし、つくば市では、18ヶ月程度経過後においても地

Study of the earthquake and fault movements on the geological environment by Satoru SUZUKI (ssuzuki@numo.or.jp), Akie MAKIUCHI, Takanori KUNIMARU, Manabu INAGAKI, Hiroshi FUJIHARA

\*1 原子力発電環境整備機構 技術部

Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO)

〒108-0014 東京都港区芝 4-1-23 三田 NN ビル 2 階

本稿は、日本原子力学会バックエンド部会第30回夏期セミナーにおける講演内容に加筆したものである。

下水位は回復途上にあるが、水位変化は 1m 程度である。上記以外にも、比較的震源に近い青森県六ヶ所村の観測事例では 1m 未満[4]、温泉地では約 30m の水位上昇が報告された[5]。

## 2.2 局所的な地下水特性の変化

2011 年 4 月 11 日に発生した福島県浜通り地震（マグニチュード 7.0）の後に、いわき市やその周辺地域の温泉において、湧出量の変化や色の濁りなどの顕著な変化が生じている。いわき市内郷では、アパートの下から約 27℃ の温泉が新規に湧き出す現象が起き、多量の温泉水がかつての炭鉱の通気孔から湧出している。具体的には、地震後に水位の上昇が生じた地域は井戸沢断層や湯ノ岳断層（地表に断層が露出）の東側に位置し、一方、水位の低下が生じた地域はこれらの断層の西側や南側に位置している。

次に、これらの変化のメカニズムやその変化が地層処分システムに与える影響に関する検討状況について述べる。

## 2.3 地層処分システムに与える影響に関する検討

地震に伴う地下水水位の変化が地層処分システムに与える影響の傾向や程度を把握するために、観測事例に基づく地下水流動解析を実施した。その上で、その結果を核種移行解析に反映し、地震およびそれに伴う地下水水位の変化が繰り返して発生する場合の核種移行解析を実施した。

上述の観測事例などにに基づき、「岩盤のひずみに伴う地下水水位の上昇」について、シナリオおよび概念モデルを構築した。具体的には、地震や断層のずれによる岩盤の応力場の変化に伴い、岩盤が圧縮され地下水水位が上昇するシナリオを構築した。このシナリオに基づき、地下水水位が高くなった岩盤から、相対的に地下水水位が低い岩盤に地下水が流れる地下水流動場に関する概念モデルを構築した (Fig. 2)。

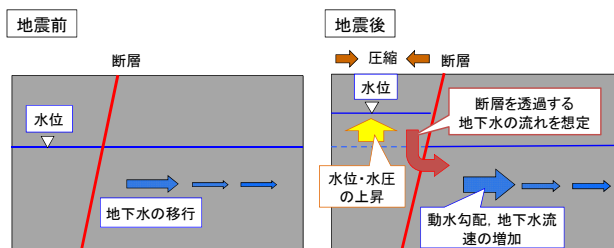


Fig. 2 Schematized model of the water level change due to the strain of bedrock

この概念モデルに基づいて水理地質構造モデルを構築し、地下水流動解析を行った。

地震・断層活動に伴う地下水水位の変化量については、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 10m の水位低下が生じ、その後の福島県浜通りでの地震後に約 20m の水位上昇に転じた事例[6]を参考に、初期の地下水面を基準として地下水水位の変化量を 30m と設定した。また、解析領域を深さ 2km 程度、横方向に 10km 程度とし、処分場の上流側 500m に断層が位置し、母岩は均質な堆積岩と設定した。解析で設定した各地質構造の透水係数は、母岩を  $1 \times 10^{-9}$  m/s、断層のコア部を  $1 \times 10^{-8}$  m/s とした[7]。

以上の条件により地下水流動解析を実施し、断層から

0.1km, 0.5km, 1.0km における動水勾配の変化を算定した。その結果、各地点における動水勾配の変化は、0.1km 地点で約 3%、0.5km 地点で約 2%、1.0km 地点で約 1% 上昇し、その後 10 年程度で急激に低下し、約 50 年程度で初期の状態に回復することを確認した。

この地下水流動解析の結果を核種移行解析に反映した。岩盤の圧縮または展張によるポテンシャルの変動は、地下深部の動水勾配の変化として作用すると設定し、核種移行への影響を評価した。解析の結果から、地震およびそれに伴う地下水変動が繰り返して発生する場合の地層処分システムへの影響は著しくないことを確認した。

## 3 まとめ

地震・断層活動が地層処分システムに与える影響に関する検討状況を報告した。地震・断層活動による影響については、今後も最新の知見や観測事例などを踏まえ、地層処分の安全確保に反映する計画である。また、この取り組みは今後も継続的に進め、地層処分の安全確保上の課題を把握する。さらに技術開発を継続的に実施することで、地層処分事業の安全確保に対する信頼性を向上させていく考えである。

## 参考文献

- [1] 核燃料サイクル開発機構：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—地層処分研究開発第 2 次取りまとめ—, 分冊 1 わが国の地質環境, JNC TN1400 99-021 (1999).
- [2] 核燃料サイクル開発機構：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—地層処分研究開発第 2 次取りまとめ—, 分冊 2 地層処分の工学技術, JNC TN1400 99-022 (1999).
- [3] 産業技術総合研究所：地震に関連する地下水観測データベース “Well Web”, (参照 2013 年 1 月 25 日) <<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/gxwell/GSJ/index.shtml>>.
- [4] 大野真知子, 福本彦吉, 平井哲, 向井圭, 西本優介：青森県下北半島地域を事例とした東北地方太平洋沖地震及び十勝沖地震に伴う間隙水圧の変動状況, 日本地下水学会 2012 年秋季講演会講演要旨, 92-97 (2012).
- [5] 大塚晃弘, 高橋孝行, 益子保：平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震に伴ういくつかの温泉の変化, 温泉科学 第 61 巻 第 4 号, pp.286-291 (2012).
- [6] 佐藤努, 風早康平, 安原正也, 伊藤順一, 高橋浩, 森川徳敏, 高橋正明, 稲村明彦, 半田宙子, 松本則夫：2011 年 4 月 11 日福島県浜通り地震 (M7.0) に伴う温泉の変化, 日本地震学会 秋季大会予稿集 P.3-11, 244 (2011).
- [7] 井尻裕二, 澤田淳, 赤堀邦晃：我が国の岩盤の水理特性について, JNC TN 8400 99-090 (1999).