

1999年集集地震による地下水位変化と地震動との関係 Groundwater change by seismic ground motion of the 1999 Chi-Chi earthquake

比嘉 万友美^{1*}, 中村 衛¹, 小泉 尚嗣²
Mayumi Higa^{1*}, Mamoru Nakamura¹, Naoji Koizumi²

¹ 琉球大学理学部, ² 産業技術総合研究所

¹ Faculty of Science, University of the Ryukyus, ² Advanced Industrial Science and Technology

地震時または地震直後に地下水位が変動する現象がこれまで数多く報告されている。変動の要因として、地殻変動による体積歪・垂直変動、および動的体積歪・地震動が考えられている。例えば1999年台湾集集地震(Mw7.6)では断層近傍の山間部で水位低下、断層から離れた海岸平野では10m近い水位上昇が見られた。Wang et al.(2001)では山間部の水位低下は空隙増加による地下水圧低下、海岸平野での水位上昇は液状化によるものとした。過去の研究によると地震動の最大加速度振幅・最大速度振幅と地下水位変化量の間には正の相関が見られる。だが、どの地震についてもこの関係が成り立つのかについては不明な点が多い。また地震動の卓越周波数は地震ごとに異なるため、地震動の最大振幅だけでなく、周波数ごとの最大振幅で考える必要がある。しかし、様々な周波数の地震動に対する地下水位変化についてはこれまで十分には研究されてこなかった。また、これらの井戸の中には地球潮汐による体積歪変化($10^{??} \sim 10^{??}$)によって地下水位が変化する井戸と変化しない井戸とがある。地球潮汐に応答する井戸は地震動による歪変化に対しても応答性が良いと考えられるが、井戸の潮汐応答性と地震動に対する応答性はこれまで比較されてこなかった。そこで、地震動の周波数ごとの応答スペクトルと地下水位変化を比較し、地震動のどのような周波数成分が地下水位変化に影響を与えているのか検証した。

上記のような研究を行うためには、地震と地下水位の両方において、多点・高密度の観測網のデータを使用する必要がある。台湾の観測網はその条件に適しており、その観測網の中で発生した1999年集集地震(Mw7.6)の時に広範囲かつ高密度で地震波形と地下水位データが得られた。そこで、台湾の観測データを用いて1999年集集地震時の地下水位変化と地震動の最大速度・応答スペクトルとの関係を調べた。データは台湾水資源管理局が台中付近で管理する井戸での水位(1994年1月1日~2000年12月31日)、および台湾中央気象局が管理する強震計の波形記録を用いた。

まず、Baytap-G(田村, 1995)を用いて地下水位データに含まれる潮汐成分を抽出し、地球潮汐応答を示す観測井戸を選択した。観測井戸183本のうち、地球潮汐応答のある井戸は20本、潮汐応答のない井戸は163本であった。次に地震時の地下水位変化の有無を確認した。地震時に地下水位変化が見られた観測井戸は183本のうち162本であった。次に周波数ごとに地震動の最大速度振幅・応答スペクトルと水位変化量を比較した結果、以下の2つのことが明らかになった。まず、地球潮汐応答のある井戸において、最大速度振幅・速度応答スペクトルと水位変化量との間にやや高い相関が見られた。例えば0.1-0.2Hzにおける上下動最大速度との相関係数は0.68、0.1Hzにおける上下動速度応答スペクトルとの相関係数は0.65であった。地球潮汐応答のある井戸は応答しない井戸よりも歪変化に対する感度が高い、または水の出入りの効果が小さいため水圧変化を正しく記録できたと考える。また、地下水位変化は高周波より低周波で相関が高かった。集集地震の速度振幅・変位振幅が低周波で大きく、大きな振幅の方が水位変化により反映されやすいため、低周波側で相関が高くなったと考えられる。

地下水データを提供していただいた台湾成功大学の頼文基博士に感謝します。

キーワード: 1999年集集地震, 地下水位変化, 地震動, 液状化

Keywords: the 1999 Chi-Chi earthquake, groundwater change, seismic ground motion, liquefaction

東濃地域における東北地方太平洋沖地震後の地下水圧の変化 Groundwater pressure changes induced by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake in Tono area, Japan

露口 耕治^{1*}, 狩野 智之¹, 尾上 博則¹, 竹内 竜史¹

Koji Tsuyuguchi^{1*}, Tomoyuki Karino¹, ONOE, Hironori¹, TAKEUCHI, Ryuji¹

¹ 独立行政法人日本原子力研究開発機構

¹ Japan Atomic Energy Agency

1. はじめに

独立行政法人日本原子力研究開発機構では、地層処分研究開発の基盤となる深地層の科学的研究の一環として、岐阜県の東濃地域において超深地層研究所計画及び広域地下水流動研究を進めている。これらの研究では、瑞浪超深地層研究所（以下、研究所）における研究坑道の掘削に伴う周辺の地下水流動場の変化の把握を主な目的として、地上及び研究坑道から掘削されたボーリング孔を利用して、約9km四方、深さ約1kmまでの地下水圧の長期モニタリングを実施している。本研究では、2011年3月11日に発生した三陸沖を震源域とする東北地方太平洋沖地震（以下、地震）に伴う長期モニタリングで確認された水圧変化について考察した。

2. 研究所周辺の地質概要

東濃地域の地質は、白亜紀後期の花崗岩（土岐花崗岩）からなる基盤を、新第三紀中新世の堆積岩（瑞浪層群）や固結度の低い新第三紀鮮新世～第四紀更新世の砂礫層（瀬戸層群）が不整合で覆っている。研究所周辺には、空中写真等の地形解析から判読される複数のリニアメントが存在する他、研究所用地の中央部には、大規模な断層として土岐花崗岩及び瑞浪層群を変位させる「月吉断層」や研究所の立坑で観察される「主立坑断層」等が存在している。研究所周辺の概略的な地下水流動は、北側の尾根部から研究所用地を通過し、南側の土岐川に至ると推定されており、これらの断層は、周辺の岩盤と透水性が異なる大規模な水理地質構造であることから、地下深部の地下水流動に大きな影響を及ぼすことが考えられる。

3. モニタリング結果

地震に伴う地下水圧の変化傾向は、ボーリング孔と水理地質構造の位置関係によって大きく異なることが確認された。その特徴を、これらの水理地質構造に着目して区分した領域毎に、地下水流動系の上流側から下流側の順に示す。

3-1. 月吉断層北側領域

月吉断層の北側は、研究坑道の掘削に伴う地下水圧の変化が小さい領域である。地震直後から0.5~4m程度の地下水圧の低下が認められた。地下水圧の低下の傾向は、数週間~数カ月かけて緩やかに低下するモニタリング区間と、短期間で低下するモニタリング区間に分類される。その後、地下水圧は、全体的に地震前の地下水圧へ回復する傾向が認められた。

3-2. 月吉断層と主立坑断層に挟まれた領域

月吉断層と研究所用地の中央部に分布する主立坑断層に挟まれた領域は、研究坑道の掘削に伴って30m程度の地下水圧の低下が認められる。地震直後から2~3カ月かけて地下水圧が1~2m程度緩やかに上昇する傾向が認められ、その後緩やかに低下し、地震後約1年間でほぼ地震前の地下水圧に回復した。

3-3. 主立坑断層と研究所南側の断層に挟まれた領域

主立坑断層と研究所用地の南端部に位置する断層に挟まれた領域は、研究坑道の掘削に伴って80m程度の地下水圧の低下が認められ、掘削の影響を大きく受けている。地震直後から約1カ月間で急激に上昇し、その後緩やかな低下傾向を示す。ピーク時の地下水圧の上昇量は約15mであり、全モニタリング地点の中で最も大きい変化量を示した。

4. 考察

地震直後の地下水圧の変化は、全体の傾向として月吉断層や主立坑断層を境として大きく異なることが確認された。一方、主要な水理地質構造が確認されていない月吉断層北側領域においては、ボーリング孔毎に異なる地下水圧の変化傾向が認められる。当該領域内には、前述するリニアメントが分布しており、これらの地下水圧の変化は、リニアメントから推定される断層等に起因している可能性がある。

今後は、地下水圧の長期モニタリングを継続するとともに、他の地震に伴う地下水圧の変化と地殻歪みや地下水の水質の関連性について詳細な分析を行う。また、リニアメントから推定される断層が地下水流動に及ぼす影響や岩盤の透水性等の水理地質構造を検討し、研究所用地周辺における地下水流動場の理解を深める予定である。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 地下水圧, 地震後の変化, 東濃地域

Keywords: Tohoku Earthquake, Groundwater pressure, Postseismic change, Tono area

超深地層研究所計画の第2段階における地下水の水圧長期モニタリング Long-term Groundwater Pressure Monitoring in Mizunami Underground Research Laboratory Project (Phase II)

狩野 智之^{1*}, 露口 耕治¹, 尾上 博則¹, 竹内 竜史¹

Tomoyuki Karino^{1*}, Tsuyuguchi Koji¹, Onoe Hironori¹, Takeuchi Ryuji¹

¹ 独立行政法人日本原子力研究開発機構

¹ Japan Atomic Energy Agency

はじめに

(独)日本原子力研究開発機構では、地層処分研究開発の基盤となる深地層の科学的研究の一環として、結晶質岩(花崗岩)を対象とした超深地層研究所計画(以下、MIU計画)を岐阜県瑞浪市にある瑞浪超深地層研究所(以下、研究所)において進めている。本計画は、「第1段階;地表からの調査予測研究段階」、「第2段階;研究坑道の掘削を伴う研究段階」、「第3段階;研究坑道を利用した研究段階」の3段階からなる約20年の計画であり、現在は、第2段階および第3段階における調査研究を進めている。本計画の第2段階は、「研究坑道の掘削を伴う調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の掘削による深部地質環境の変化の把握」を目標の一つとしており、その一環として、地下水の水圧長期モニタリングを実施している。

実施概要

研究所周辺には、白亜紀の花崗岩(土岐花崗岩)が分布し、この土岐花崗岩を基盤として、新第三紀中新世の堆積岩(瑞浪層群)と、固結度の低い新第三紀中新世~第四紀更新世の砂礫層(瀬戸層群)が分布する。研究用地の中央部と南端部には北西走向の2条の断層、また、研究用地の北方には東西走向の月吉断層が分布している。

地下水の水圧長期モニタリングは、ボーリング孔に多区間で間隙水圧を観測できる装置を設置して実施しており、広さ約8haの研究用地内(地上:6孔,研究坑道内:6孔)、および研究用地から北西へ約1.5km離れた広さ約14haの正馬様用地内(地上:6孔)で間隙水圧を観測している。また、両用地を取り囲んだ約10km四方のエリアにおいても間隙水圧を観測している(地上:6孔)。

研究坑道は、主に2本の立坑(主立坑:掘削深度500.4m,換気立坑:掘削深度500.2m)と100m毎に2本の立坑を連絡する予備ステージおよび主立坑の深度300mから北方向に掘削した深度300m研究アクセス坑道からなる(2013年1月現在)。研究坑道は主として、この地域の基盤をなす土岐花崗岩中に建設されており、主立坑は研究用地中央部の断層に沿うように位置し、換気立坑は中央部と南端部の断層に挟まれた領域に位置する。

観測結果

第2段階での地下水の水圧長期モニタリングの結果、研究用地内における瑞浪層群の明世/本郷累層の観測区間では、研究坑道掘削に伴う水圧変化がほとんど観測されていない。明世/本郷累層の下部には低透水性の泥岩層の分布が確認されていることから、これが地表付近と地下深部の地下水流動を区分する水理境界として機能していることが推定される。また、土岐花崗岩部では、研究用地の中央部と南端部に位置する2条の断層を境として、研究坑道掘削に伴う水圧変化が大きく異なる結果が得られた。特に換気立坑が位置する研究用地の中央部と南端部の断層に挟まれた領域における水圧変化量が大きく(全水頭で最大80m程度)、その外側の領域の水圧変化量と比較すると3倍程度であった。研究用地の中央部と南端部に位置する2条の断層は、垂直方向の透水性が周辺岩盤に比べて低いことが確認されており、これらの断層は、研究用地を3つに区分する水理境界を形成していることが考えられる。

研究用地外における広範囲の水圧変化をみると、正馬様用地内の土岐花崗岩部では、月吉断層上盤側(南側)で研究坑道掘削に伴う水圧変化が全水頭で最大15m程度が観測されるが、下盤側(北側)ではほとんど水圧変化がみられない。また、正馬様用地以外の月吉断層下盤側の水圧変化をみた場合、研究用地からの距離が正馬様用地と同程度のボーリング孔(研究用地から北東へ約2km)で水圧変化がみられるが、研究坑道の掘削進捗との関連性は不明瞭である。仮に研究坑道掘削に伴う水圧変化としても、その変化量は月吉断層上盤側の半分程度であった。これらのことから、垂直方向に低透水性を有する月吉断層が広範囲の地下水流動を区分する水理境界を形成する水理地質構造であることが確認できた。

まとめ

複数のボーリング孔で観測された地下水の水圧変化データに基づき、研究用地内およびその周辺の地下水流動特性を評価する上で重要となる水理地質構造を推定することができた。今後も地下水の水圧長期モニタリングを継続して観測データを蓄積するとともに、水圧観測データと水理地質構造の三次元分布との関連性について詳細な検討を行う。さらに、それらを踏まえて、水圧長期モニタリングの考え方・手法についての最適化を検討する予定である。

Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SCG60-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月21日 18:15-19:30

キーワード: 水圧長期モニタリング, 地下水の水圧変化, 瑞浪超深地層研究所

Keywords: Long-term groundwater pressure monitoring, Groundwater pressure change, MIU (Mizunami Underground Research Laboratory)

地下深部におけるコロイド調査に関わる品質管理とアナログ元素のコロイドサイズ依存性について

Hydrogeochemical investigation of colloid and trace elements by using quality-controlled sample at Mizunami Underground

岩月 輝希^{1*}, 大森 一秋¹, 新宮 信也¹

Teruki Iwatsuki^{1*}, Ohmori Kazuaki¹, Shingu Shinya¹

¹ 日本原子力研究開発機構

¹ Japan Atomic Energy Agency

地下水中的コロイド粒子は、特定の元素を担持した擬似コロイドとして地下水の流れとともに物質を移動させたり、地下水の流動経路となる岩盤中の間隙の狭窄部において物理的にろ過されるなど、様々なメカニズムにより物質の移動・遅延に参与する。そのため、コロイド粒子による物質移動・遅延効果を評価するためには、その種類や主要・微量元素組成、それらのサイズごとの違いなどを調査し、その移動経路となる岩盤中の間隙サイズを勘案しながら移動プロセスを理解するための調査解析手法が必要となる。

岐阜県瑞浪市に建設中の瑞浪超深地層研究所では、地下坑道（深度 200m, 300m, 400m）から掘削したボーリング孔で採取した地下水を対象として、地下深部におけるコロイド態での物質移動メカニズムを理解するための調査研究を行っている。これまでにコロイド粒子の種類や量、放射性核種のアナログ元素となるウランやトリウム、希土類元素濃度の調査品質に関わる課題やその要因として、以下のような知見を得ている。

・ボーリング孔から地下水を採取して行う調査手法では、アナログ元素濃度が採水時間とともに変化することがあり、コロイド粒子の分離濃集作業に長時間を要する限外ろ過手法では代表的な値を得ることができないことがある（アナログ元素濃度の経時変化の理由は、採水区間の地下水の入れ替わりや次に述べる人為生成コロイドの剥離などの要因が考えられる）。

・ボーリング孔を利用した調査では、ボーリング孔掘削により新たに地下水に接することになるボーリング孔壁の岩石表面が水-鉱物反応により変質し、従来存在していなかったコロイド態物質が生成する場合があることが確認されている。このようなコロイドは、限外ろ過作業時の圧力変化に伴いボーリング孔壁から非定常的に剥離し、限外ろ過作業の再現性を低下させる。

・理論上はろ過孔径が小さくなるほどろ過膜で捕集されるコロイド粒子量が増えるため、ろ過液中のアナログ元素濃度が減少するため、その差異によりアナログ元素濃度のコロイドサイズ依存性を確認することができるが、以上のような品質低下要因により、ろ過孔径の小さいろ過液の方がろ過孔径の大きいろ過液よりもアナログ元素濃度が高くなることもあり、コロイド態のアナログ元素の移動について考察できない。

本研究では、以上の課題を踏まえて、深度 300m の地下坑道で観察される 2ヶ所の湧水割れ目（実際に地下水の流れとともにコロイド粒子が移動している可能性のある割れ目）の地下水をバッチ式気密容器に採取して研究試料とすることで、ボーリング掘削に伴う人為的なコロイド生成や地下水の経時変化といった品質低下要因のない条件下で地下水をろ過孔径の異なる複数のろ過膜で限外ろ過し、アナログ元素濃度のコロイドサイズ依存性について考察した。

0.2 μm , 200 kDa, 50 kDa, 10kDa (Da: 分画分子量) のろ過膜を用いて限外ろ過を実施し、ろ過膜上のコロイド粒子の SEM-EDX 分析を行った結果、地下水中的コロイド粒子は C や S, Si, Al, Na, Ca, Fe などから構成されていた。これらの化学組成から、コロイド粒子は主に有機物、ケイ酸塩鉱物、水酸化鉄などにより構成されていると考えられた。ろ過液中のアナログ元素濃度は、ろ過孔径により違いが認められ、概ねろ過孔径が小さくなるほど濃度が低くなる傾向を確認することができた。このため、今回得られたデータは、アナログ元素濃度のコロイドサイズ依存性について考察可能な品質であると考えられた。

ろ過孔径ごとのろ過液中のアナログ元素の濃度差は、0.2 μm ~ 200 kDa, 200 kDa ~ 50 kDa の間で大きく、50 kDa ~ 10kDa では小さかった。各ろ過孔径のろ過液中のアナログ元素濃度の差分に基づいてアナログ元素濃度のコロイドサイズ依存性について確認したところ、0.2 μm ~ 50 kDa, 10kDa 以下のサイズ画分のアナログ元素濃度が 50 kDa ~ 10kDa のサイズ画分に比べて高く、アナログ元素が主に 0.2 μm ~ 50 kDa および 10kDa 以下のサイズのコロイド粒子に担持され移動していると推察された。ただし、10kDa 以下のサイズ画分については溶存態のアナログ元素も含まれており、コロイド態と溶存態のアナログ元素の量比は明らかでない。既往研究 (1) では、この地域の花崗岩中の割れ目開口幅が主に 0.01mm 以上であることを示しており、今回確認した 0.2 μm 以下のコロイド粒子は、大部分が割れ目狭窄部で遅延されることなく地下水の流れとともに移動しているものと推察される。今後は、0.2 μm 以上のコロイド粒子および懸濁液中のアナログ元素濃度の確認を行っていく予定である。

参考文献

1) 笹本ほか (2012): 日本原子力学会和文論文誌, Vol.11, p.233-246.

Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SCG60-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月21日 18:15-19:30

キーワード: 瑞浪超深地層研究所, 深部地下水, コロイド, 希土類元素

Keywords: Mizunami Underground Research Laboratory, Deep groundwater, Colloid, REE