

令和2年度 東濃地震科学研究所事業報告 概要

公益財団法人地震予知総合研究振興会

事業の実施計画

本事業計画は、深地層研究施設の設置および運転の円滑化に資するため、瑞浪超深地層研究所施設の活用による内陸地震の研究および東濃地域に資する地震防災に関する研究を推進するものである。

事業の内容は、

1. 深地層・地下空間における観測機器・技術の開発研究および地下水流動研究
2. 内陸地震および活断層地域における地震の発生機構および関連現象の総合的研究の2本の柱で構成している。

当研究所は、平成9年の設立以来、日本原子力研究開発機構が設置している瑞浪超深地層研究所の立坑を中心に深部ボアホール総合観測網、および東濃地域に高密度地震観測網を展開するとともに、臨時地震観測、水準測量観測網による上下変動測量や重力計による重力観測を実施してきた。

事業の実施にあたっては、その円滑な運営を図るため、外部有識者を委員とした東濃地震科学研究所運営委員会を開催している。

なお、これらの研究および研究開発に対する目標、成果等の妥当性については「経済産業省技術評価基準」を準用し、外部有識者を委員とした第5回目の中間評価検討会を平成29年度に実施、高い評価を得たところである。

令和2年度においては、日本原子力研究開発機構が定めた「令和2年度以降の超深地層研究所計画」に示された坑道の埋め戻し作業が本格化することを踏まえ、立坑の埋め戻しによる状態変化の研究を重点的に推進する。

観測体制の特徴

地殻活動総合観測装置は、地下深部（1 km）において地球物理学的総合観測が可能である。この観測機器は、瑞浪超深地層研究所の立坑を利用して、当研究所で開発した世界的にも例を見ない画期的な観測計器であり、研究所が設立されて以来、構築してきた観測体制から、蓄積され続けている応力計・歪計・傾斜計・地震計・温度計・水圧計・磁力計等のデータにより、今までに出来なかった新たな研究と事業の効果的な推進が可能となった。

一方、立坑の各ステージに設置した観測システムについては、令和2年度から本格化する立坑の埋め戻し作業に耐えられない部分があることから、平成31年度においては、埋戻し期間中や埋め戻し後においても観測が継続できるよう、対策工事を実施したところであり、立坑内の500mと200mのステージに設置した観測点において、連続した貴重なデータを得ることが可能となった。

1. 深地層・地下空間における観測技術の開発および地下水流動研究

1.1 立坑埋め戻しによる状態変化の研究

1.1.1 戸狩地殻活動総合観測点

TGR320 整備 (TGR350 再整備) と歪計の埋設・設置戸狩地殻活動総合観測点 TGR350孔は、平成10年(1998年)5月に整備が終了、地殻活動総合観測装置(水平歪3成分、傾斜2成分、温度1成分、速度型地震計3成分)が深度350m(GL-350m)に埋設・設置された。2005年6月に瑞浪超深地層研究所(MIU)の掘削がGL-50m以深に達して以降、MIU立坑内に大量湧水が発生し立坑内より排水が行われた。

TGR350では、これらの変動を観測し、NNW断層との関連を明らかにした。しかしながら、埋設・設置した地殻活動総合観測装置の内、歪1成分、傾斜2成分が経年劣化のため数年前から順次故障したため、特に歪解析を行えるような観測は不可能となっていた。2020年度、MIU立坑埋め戻しに伴うその周辺域の間隙水圧回復過程を観測することを目的としてTGR350孔を再整備した。整備工事は2020年7月に開始し、10月14日に孔底深度319.5mへ石井式ボアホール歪計を埋設・設置、完了した。観測成分は水平歪4成分、鉛直歪1成分である。このほかボアホールに水位計も設置されている。

1.1.2 水準測量で検出した2020年の上下変動

水準測量による上下変動の観測は、地下水流動を直接議論することはできないが、上下変動の観測を通して地域の地下水流動の時間変化が検討できる。瑞浪の研究坑道周辺では地下水位の観測がそれほど多くの点でなされていない。それだけに、周辺域での上下変動観測から地下水流動の時間変化を検討するのが重要な意義を持つ。水準点0から116までの区間で西側、中央、東側の3路線における2018-2020年と2012-2018年の2期間の上下変動を測量により調べた。坑道の埋め戻しは計画通り2020年3月に工事が始まり、水準測量を実施した2020年11月には500m横坑を終え、深度300mの横坑にとりかかる直前だった。坑道排水は2014年に950m³/dayだったが、掘削工事終了で減少に転じ、2020年9月には750m³/day、埋め戻しに入るとさらに減少し、11月には600m³/dayに減じた。排水の減少に伴い、東濃地震科学研究所が観測する近傍での地下水位も上昇し、11月に3mの水位上昇が観測された。このように、掘削から埋め戻しに移行すると坑道排水は減少し、地下水位は上昇に転じ、沈降は小規模になっている。

1.1.3 立坑埋め戻し工事に伴う重力関連現象検出の試み

瑞浪地科学研究所測定室での絶対重力測定は毎月1度を目処に実施して来たが、2020年10月にHe-Neレーザーが消耗して終了した。期間中の絶対重力値はほぼ一定かわずかな減少傾向が見られる。この間の瑞浪超深地層研究所(MIU)の埋め戻し工事は、深度400m予備ステージ以深までである。MIU坑道中の土砂充填(しかも、研究所測定室より高所に保管してあった土砂もある)、それに伴う地下水流出量低下、鈍化したとはいえ地表面の沈降(水準測量による)が生じており、これらは全て重力増加に作用するはずである。したがって、絶対重力測定結果は立坑埋め戻しに伴う諸現象とは整合しておらず、原因は現時点で不明である。

1.1.4 立坑埋め戻しによる応力・水圧・水位変動について

立坑内への埋め戻しは 2020 年 2 月から開始されている。前述の立坑内のボアホール観測に加えて立坑から約400m離れたところのTGR320ボアホール観測点（深度；320m）に設置された多成分歪計と水位計がデータを蓄積している。立坑500mに設置した連続観測用応力計の鉛直成分と水圧計の記録およびTGR320観測点の水位データおよび立坑内の埋め戻しの週報（東濃地科学センターホームページ、2021）から求めた埋め戻しがなされた深度もプロットした。埋戻された高さ和水圧・鉛直応力および水位は似たような変動を記録している。水位計は 2020年10月から観測開始された。この図から水圧は約 0.75MPa, 鉛直応力は約0.1MPa程度増加している。水圧が鉛直応力より7.5倍程度大きい。鉛直応力は埋め戻された物質の重量によるものではなく水圧変化により応力変化が生じていると考えられる。水位は10月からしかデータがないが変動の類似性から約10m上昇したと推定できる。今後、観測されるデータも含めて地下水流動の研究を進める予定である。

1.2 地球物理学的方法による地下水流動の研究

1.2.1 上下変動と立坑での湧水・排水

瑞浪超深地層研究所の500m深研究坑道掘削による排水に伴い、東濃地震科学研究所では坑道近傍で2004-2012年に60mの地下水位低下と1cm超の沈降を観測した。上下変動を確証するために、2012年に水準網を地下構造探査から推定される土岐地下水盆地に拡張し、上下変動を空間分布として検討することを試みた。今年度は昨年中断した水準測量を再開し、坑道埋め戻しに移行した段階での周辺域における上下変動を求めた。上下変動は2018年までの沈降の停滞からの僅か1mmの隆起に転じた。測量誤差を考えると有意でなく、「停滞が継続」という表現が適切と考える。地下水位は観測井での計器再設で観測を中断したが、観測の再開後に11月に3mの上昇が観測された。そのほか、坑道からの湧水とその排水の時間変化、近傍で観測された地下水位低下と沈降の時間変化および上下変動の空間分布・地下水盆の分布との対応などについて検討した。

1.2.2 重力計水平アレイ観測

gPhone#130は2020年3月から戸狩観測壕第三前室にて観測を開始した。一方、gPhone#153は昨年度から引き続き、瑞浪地科学研究所測定室で稼働させた。以上のような観測点配置を、ここでは重力計水平アレイ観測（HGA）と呼ぶことにする。

各gPhoneの振動ノイズおよび両gPhone重力値の差の解析結果を示した。両重力計共通の振動ノイズは自然地震由来であり、差をとることの相殺作用もあって、結果的に解析結果への影響は充分小さかった。データ処理は、重力計個々の段階で、Baytap08により、潮汐、気圧応答成分（admittance factor 法による）は除去した。両gPhoneに共通する大気・地下の広域重力変動は相殺するため、個々のgPhone近傍のローカルな重力変動を示すことが出来た。

1.2.3 戸狩TGR350孔の再整備による歪観測装置により観測される地震動の研究

戸狩観測孔[TGR]は、1998年5月7日に観測を開始している、東濃地震科学研究所で最初の石井式歪計によるボアホール観測点である。2000年からは、1 Hzサンプリングのデータ収録方式を採用し、2003年十勝沖地震 (M8.0) の歪地震動を記録しており、この装置の歪地震動観測の有用性を示す最初であった。2003年の屏風山観測井からは、さらに高速のサンプリングデータ (20Hz) を収録し、歪地震動研究の更なる発展が示されている (笠原、2018)。20年以上続いた戸狩観測井も、近年歪3成分のうち1成分が故障し主成分解析が出来ない状態が続いていたが、2020年10月14日に、屏風山観測点以降進められてきた多成分化 (水平4成分プラス鉛直成分) された歪観測装置が再埋設され観測が開始された。

ここでは、それ以降観測されている歪地震動記録について、屏風山観測点 [BYB] との比較の3例を示した。震源距離が同じ程度で、Mの異なる地震を選んだ。3例からわかるように、新戸狩観測点の歪地震動記録は非常に良好である。またノイズレベルの違いは、地震検知限界の下限をより小さいMまで拡大することになる。ノイズレベル一桁の差は、M1の差となる。震源距離100kmでの地震動検知限界はBYBの場合、M~3であるが、TGRでは、M~2まで可能となる。

1.2.4 インテリジェント小型歪計を用いた応力解放法による測定について (陶史の森)

東濃地震科学研究所ではボアホール設置型ひずみ計や応力計を開発し、設置後の連続観測による岩盤内ひずみ変化や応力変化を高精度で計測している。これらは観測機器を設置したときの状態を基点とした相対変化である。一方、地殻応力の絶対量を計測するために、ボアホール歪計の小型化とメモリ内蔵によるワイヤレス化を実現することにより、地殻応力の絶対量測定手法の開発研究が実施された [例えば石井ほか 2004; 山内ほか, 2004; 山内ほか2005]。ボアホール設置型ひずみ計や応力計を設置する直前に絶対量計測を行うことにより、その後のひずみ計あるいは応力計による連続観測結果 (相対量) と初期測定結果 (絶対量) を組み合わせることにより、地殻ひずみあるいは地殻応力の絶対量の経時変化が高精度でモニタ可能となった。

2009年3月、ボアホール応力計を設置する直前にインテリジェント小型歪計による初期応力測定が実施された。この計測の後、ボアホール応力計が設置され応力の相対変化の連続観測が始まったので、初期応力測定結果と組み合わせることにより、地殻応力の絶対量の変化を知ることができる。向井 [2009] には解析手法の詳細は書かれていないが、二次元解析で、残留応力が生じる場合、すなわち応力の不完全解放条件が考慮されている。二次元なので鉛直応力は分からない。本報告では三次元解析を実施し、求められた鉛直応力と岩盤の密度から推定される被り圧を比較することにより、測定および解析の結果を検証した。

1.3 断層と地下水の関連性に関する研究

1.1.4 および 1.2.1 が関連している。

1.4 超磁歪起震装置の開発・改良による地下水流動研究

1.4.1 超磁歪震源による地震波速度の観測研究

平成22年度より本事業では、瑞浪観測壕内に超磁歪素子を用いた弾性波制御震源（以下、超磁歪震源装置）の開発と運用を行っている。本事業の主目的は、超磁歪震源の有用性を検証し、弾性波により地下の弾性波速度変化や岩盤や地下水の挙動を明らかにすることである。

平成27（2015）年度には、GPSに同期した任意波形を発生できるシングルフォース型の超磁歪震源（以下、新震源）を新たに開発し、平成28年4月に地下のモニタリングを開始した。その結果、熊本地震（2016/04/16 M=7.3）前後の直達P波の走時変化が土岐花崗岩中の間隙水圧（STG200N）の変化と良く一致していることが判明した。また、平成28年8月からは、瑞浪観測壕内に小規模な地震計アレイを設置して、瑞浪層群内の地下構造変化のモニタリングを開始した。平成30年度には、地震計アレイの観測により有感地震となった壕壁付近の岩盤破壊現象（2018年3月28日）で震源近傍の散乱構造が変化していることが判明し、2018年7月以降のデータに、降雨やその後の地下水流動に対応すると考えられる散乱構造の変化が見えていることが分かった。

令和2（2020）年度も実験を継続し、主として瑞浪観測壕内の地震計アレイによる観測を進めている。新震源による連続稼働実績は約5年間になる。令和2年度にも、降雨による波形変化は観測されており、降雨が地下に浸透することによる瑞浪層群内の散乱構造の変化が原因とみられる。地震による明瞭な波形変化は、今年度は、静岡県西部の地震（2020年9月27日、M5.1, 瑞浪での震度2）の際にのみ観測された。

2 内陸地震および活断層地域における地震の発生機構および関連現象の総合的研究

2.1 東濃地域の地震活動および地殻活動の研究

2.1.1 歪変化の空間分布による短期的スローイベント発生源モデルの再考

沈み込み帯で検出される各種スロー地震は、通常地震と同様に断層運動としてモデル化されるが、これらがスローかつ非定常な現象となるメカニズムは不明である。そこで本研究では、深部スロー地震の一つである短期的スロースリップイベント（S-SSE）について、発生域における変形様式を考慮して、発生源モデルの再推定を行った。

東海地域における深部 S-SSEはこれまでに多数報告されているが（例えば産総研・防災科研、2017）、これらの震源モデル推定に使用された観測点は、いずれも断層面に対してすべり角の方向（沿岸側）に位置する。発生源の位置をより良く推定するため、従来のデータに加えて、S-SSE発生源の内陸側にある東濃地震科学研究所所有の歪計・応力計データの併用を検討した。S-SSE発生源を矩形断層モデル(Okada, 1985)で表し、2017年2月に発生した S-SSEの発生源について下記3ケースを仮定し、モデルパラメータを2段階で推定した。

2.1.2 東濃地域の地震活動および地殻活動の研究

東濃地震科学研究所で運用している高密度地震観測網のうち25観測点について、近傍の地盤増幅特性を推定するとともに、一般に地盤増幅同定に用いられるスペクトル比法の比較を行った。地盤増幅特性は、地盤の影響を受けない岩盤中や岩盤露頭の観測点との比較によって得られる。本研究では、東濃地震科学研究所の大深度ボアホール観測点BYB（地下1020m）の記録を比較のために使用する。具体的には、一般に用いられる手法として、対象観測点の水平動地震記録のS波部分のフーリエ振幅スペクトルを、同時に観測されたボアホール観測点の同スペクトルで割って比（H/Hスペクトル比）をとる。対象観測点付近の地盤による増幅があれば、スペクトル比はピークを示す。ピークが高いほど、その周波数での地盤増幅が強いことになる。このスペクトル比を複数の地震について計算しスタックする。使用した地震数は29個である。H/Hスペクトル比 の一例を示した。

2.1.3 飛騨上高地群発地震の震源分布の解析

1998年8月から10月、北は野口五郎岳から南は上高地までの間で飛騨上宝群発地震が発生した。8月12月には上高地の近くでM5.0の地震が発生し、上高地で震度5弱となり、観光客を驚かせた。8月16日には槍ヶ岳近くでM5.6の最大地震が発生した。

本研究では、M2以上の地震の活動域の時空間推移を手掛かりに、熱水供給のメカニズムのヒントを得ることを試みた。際だった特徴は、1998年も、2020年も、火山ではない西穂高岳が明確に活動域の区間境界であった。大見・他（2020）は、GPSデータの解析結果から、5月中旬から6月の初めの時期、西穂高岳の直下で東南-西北走向の板状マグマが上昇したことを示した。両者がどのような関係にあるのかは分からない。

これらの観測事実を元に、地震発生層の下に、空間区分に対応して熱水貯留層が孤立的に分布しながら、熱水脈で細々と連結して水圧は共有しているというモデルを提出した。

2.1.4 瑞浪超深地層研究所主立坑断層近傍の観測点における連続観測記録を用いた極微小地震検出の試み

瑞浪超深地層研究所（MIU）の深度500mステージ建設時にMIU内に展開していた坑内地震観測点における連続地震観測を2016年6月から再開していたが、2020年2月からの埋め戻しに伴い、2019年10月までにこれらの観測点は撤去した。約3年にわたる、高サンプリング（10kHzサンプリング）連続観測記録を用いて、坑道近傍を震源とする極微小地震の検出を試みた。極微小地震の検出にあたっては、ノイズレベルを超える振幅の地震波が観測される必要があるため、各観測点においてランニングスペクトルを求めるとして、ノイズレベルの可視化を行った。

平成30年度事業報告において、震源距離150mほどのM=-1程度の地震イベントと思われる地震波の観測を報告しており、これに類似するイベントの検出を試みたが、網羅的な検出はできなかった。設置したセンサー特性の問題もあるが、解析の際の時間ウィンドウをより短くする（ただし計算所要時間は激増する）ことで、網羅的な検出が可能かもしれない。

2.1.5 コア変形法によるボアホール観測点設置時の岩盤応力の測定

岩盤応力の測定は、応力解放法が最も信頼性が高いと思われるが、地下深部の測定には作業員がアクセスするための坑道が必要なこと、測定に多額の費用を必要とすることが難点である。これに比べコア法は、ボーリングコアさえ回収できれば実験室で応力の測定が可能であり安価で簡便であるが、信頼性が低い難点がある。従来法の課題を解決する新たなコア法として、ボーリング軸に直交する2次元断面の岩盤応力を、コアの変形を利用して測定するコア変形法(DCDA:Diometrical Core Deformation Analysis)が、船戸・伊藤(2013, 2017)により開発された。当研究所では、ボアホール観測点設置時に回収した JAEA STG 500L, 陶史の森, 屏風山の3箇所の鉛直孔のコアに対して、この方法による岩盤応力の測定を行った。

屏風山については、現時点でコア変形法による信頼性の高い岩盤応力の測定結果が得られていると思われる。屏風山でもボアホール歪計を用いた応力解放法が行われておられる。屏風山の場合、コア変形法による岩盤応力の測定深度と応力解放法の試験深度に350mまたは700mの違いがあるが、今年度の陶史の森と同様の応力解放法の解析を行い、コア変形法の結果と比較することは意味あることと思われる。

2.2 地殻活動研究委員会の開催等

地殻活動研究委員会委員の所属が多岐にわたっているととも日程の調整も難しくオンライン会議の開催もできなかった。地殻活動研究委員会報告書のみ発行することにした。

3. 広報活動など

3.1 地元イベントへの参加：おもしろ科学館 in 瑞浪

今年度の開催はコロナ禍のためにオンライン動画となった。東濃地震科学研究所は受託業者の依頼で3つの短編動画を YouTube に公開することとなった。当方からベースとなる自作動画とそれについての解説資料を提供して、それらを元に映像コンテンツ作成会社が動画を作成した。作成した動画のタイトルは「活断層と地震」、「震源断層サイズと地震エネルギー」、「振り子で地下を探る」とした。