

## 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 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、この大量排水に伴って 2005 年 9 月末までの 4 か月間で約 20m の地下水位低下が生じ（通常、水位の潮汐変化は数 cm オーダー）、水位低下に伴う  $10^{-6}$  オーダーの歪変化を観測した（石井・浅井、投稿中：2020）。2001 年と 2002 年に行った揚水実験（TGR350 から 270m 離れた DH-2 号孔における一定量揚水）でも同様な歪変化を観測している。このように TGR350 は地下水位変化と歪変化に関連性が見られる観測点であり、MIU の埋戻し作業に伴って生じると予想される地下水流動変化（水位・水圧上昇）に伴う歪変化が観測できると期待されていた。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（図 1.1. a; 新観測点名 TGR320、図 1.1. 1b）。

埋設・設置後、10 月 21 日に観測棟への光・電気複合ケーブルの本通線、10 月 28 日の各成分オフセット調整と水位計（full range; 20m）の再設置を行った。10 月 29 日以降の記録を図 1.1. 1c に示す。概ね、12 月上旬までは水平歪各成分は  $10^{-6}$  オーダーの縮み、鉛直歪は  $10^{-5}$  オーダーの伸びを観測し、徐々にドリフトレートは減少、12 月上旬以降は、N268E 成分以外、各成分でそれ以前と異なる変化が観測されている。また、水位に関しては整備前の 7 月 11 日時点で GL-118.47m、10 月 21 日の水位計再設置時に GL-114.49m であり、工事を挟んで 3.98m 水位が上昇した。欠測期間中の 8 月 19 日に、換気立坑側深度 500m レベル坑道の埋戻し完了と立坑部の埋戻しが始まった。これらの影響が TGR320 において観測されていると考えられる。2021 年 1 月 19 日時点で、10 月 21 日より約 5m 水位が上昇、その後も上昇傾向は続いている。

JAEA によると、2021 年 4 月末時点で立坑 GL-30m まで埋め戻しが行われる予定である。今後は 2021 年度中の産業技術総合研究所への観測点移管（予定）まで、歪と水位の連続観測を継続し、立坑埋め戻しによって生じる MIU 周辺の間隙水圧回復過程に伴う土岐花崗岩中の歪変化を観測する。

石井 紘・浅井康広、2020：地下水流動によって明らかになった NNW 断層と歪変動の関連性— 湧水・排水の場合 —、「地震」投稿中

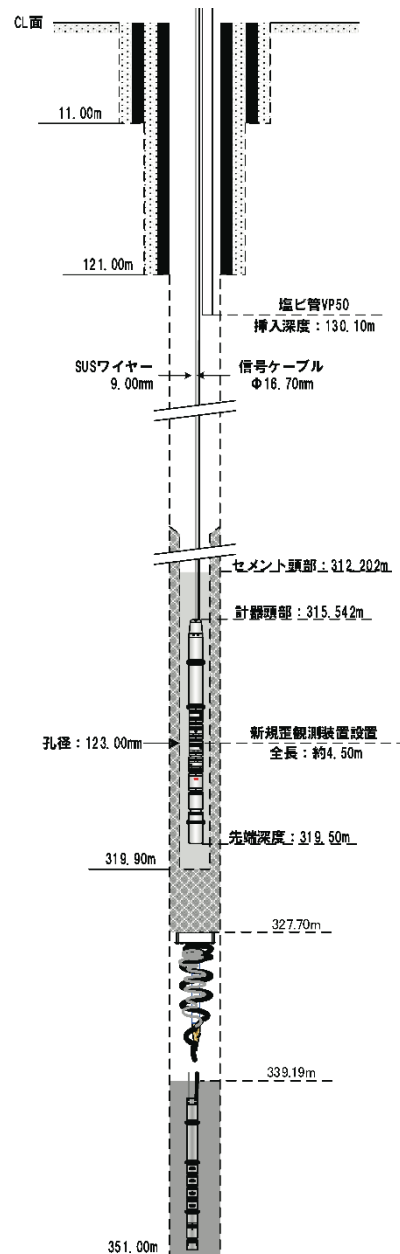


図 1. 1. 1a TGR320 整備図。石井式ボアホール歪計はコア写真との対比を行い（図 1-2）、水平歪計感部に割れ目や水みちがあたらないように箇所を選定し、計器先端深度を 319.5m として埋設・設置した。TGR350 として稼働していた地殻活動総合観測装置は孔底に残置、ケーブル回収時にやむを得ず残置することとなった回収用 BQ ロッド（長さ約 8m）の上をセメンチングし、歪計の埋設・設置区間を整備した。歪計の記録（原サンプリング 20Hz）はインターネット回線を通じて TRIES のデータベースサーバーへリアルタイムで送られている。

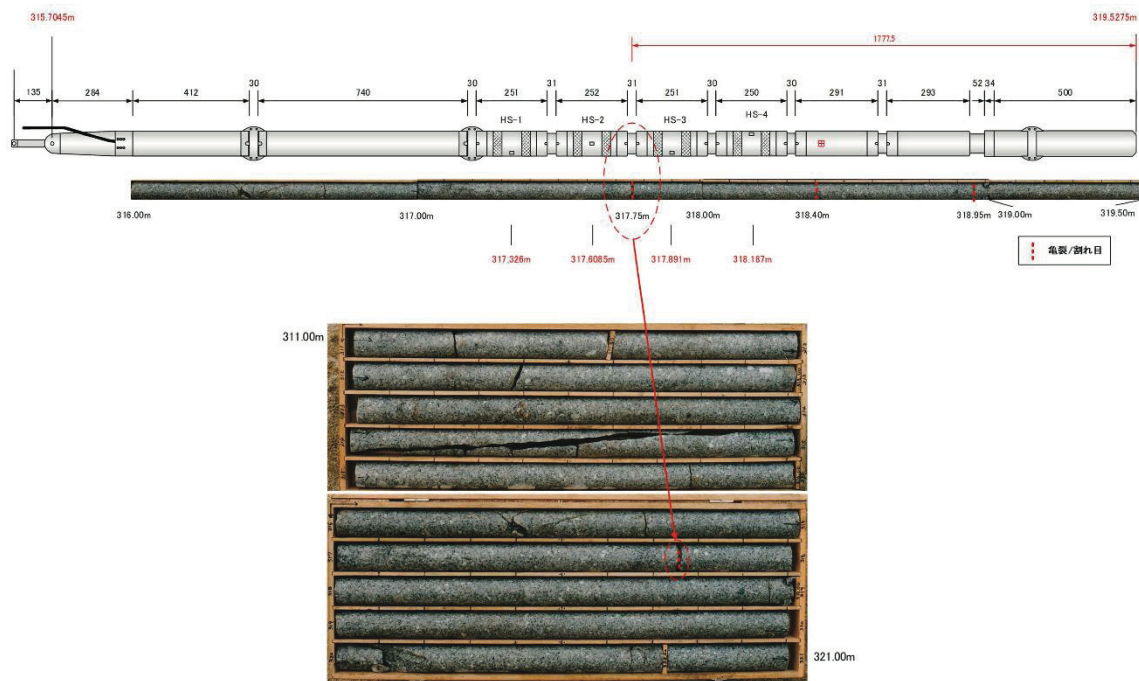


図 1. 1. 1b TGR320 歪計と岩石コア (TGR350 掘削時) の対比図深度 317.75m (図中央赤矢印部) に水平亀裂が認められたため、この深度に水平歪ジョイント部が位置する深度を選定、計器先端深度を 319.5m と決定した。

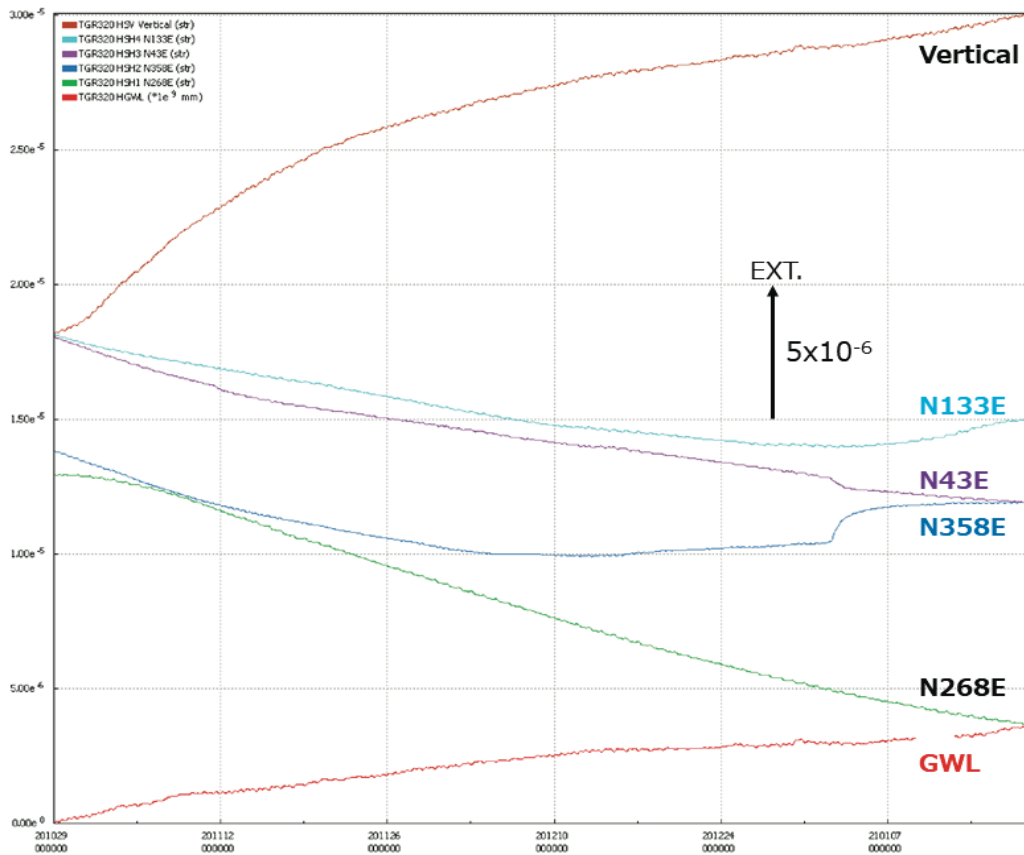


図 1. 1. 1c 2020 年 10 月 29 日～2021 年 1 月 19 日までの TGR320 歪計各成分の記録図。図中のスケールは  $5 \times 10^{-6}$  を示す（上向きを伸び；EXT）。緑、青、紫、水色の各線は水平歪計記録（HSH-1～4）。茶線は垂直歪計記録（HSV）。赤線は水位計記録（GWL）。各記録原記録は 20Hz。

### 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。

水準測量は昨年に中断したが、2020年11月に日大の森済、村瀬雅之の協力の下に実施した。図1に水準点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期間の上下変動を示す。閉合誤差が上下変動で $\pm 2\text{mm}$ ほどあり、網調整を行った。各期間に観測された変動の中間値とそのSDを緑色の帯で示す。水準網を拡張した2012年から2018年までは坑道の南東側に位置する水準点205や206周辺で $2\text{--}3\text{mm/y}$ の沈降が検出されていた。しかし、2018-2020の2年間は顕著な沈降が水準点205と206での $2\text{mm}$ だけと狭くなった。

2018-2020年に観測した変動は、これまで不動点と仮定した水準点0に対してほとんどの水準点が $2\text{mm}$ 前後の隆起を示す。これは水準点0が局所的に沈降したか、測量誤差に起因する見かけの沈降と考える。

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 $500\text{m}$ 横坑を終え、深度 $300\text{m}$ の横坑にとりかかる直前だった。坑道排水は2014年に $950\text{m}^3/\text{day}$ だったが、掘削工事終了で減少に転じ、2020年9月には $750\text{m}^3/\text{day}$ 、埋め戻しに入るとさらに減少し、11月には $600\text{m}^3/\text{day}$ 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 $3\text{m}$ 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。

以上から高精度な水準測量による $\text{mm}$ レベルの上下変動の観測は、坑道掘削に伴う地下水流動の変化も検出できると考える。

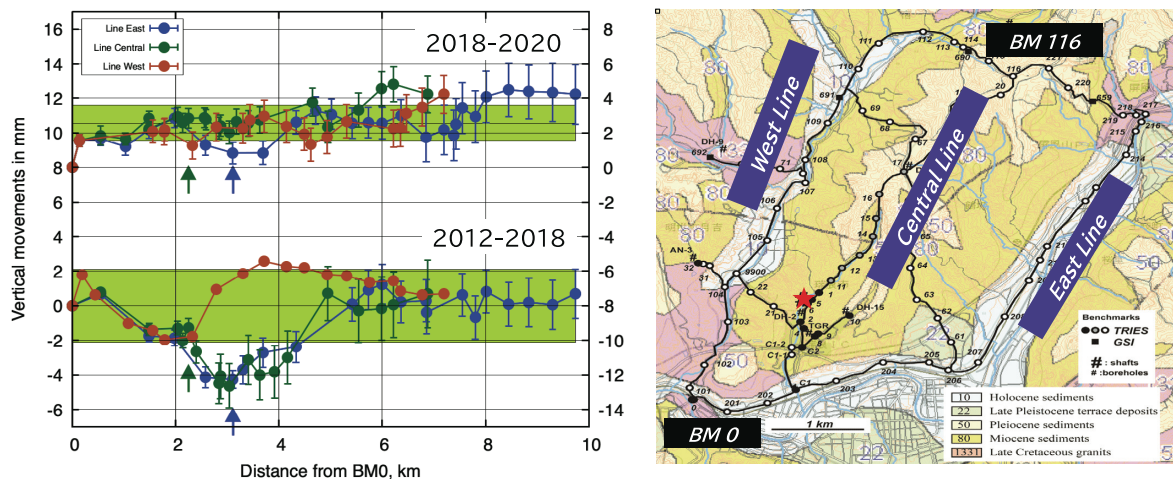


図1 左：2012-2018年と2018-2020年における西・中央・東路線における水準点0から116までの上下変動 網調整済み。変動の中間値 $\pm\text{SD}$ の領域を緑の帯で示す。黒の $\uparrow$ は坑道近傍のBM2、青の $\uparrow$ は東路線のBM205の位置。右：水準網の位置を示す地図。★は坑道の位置である。

### 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。図1.1.3aに2020年4~9月の絶対重力値を示す。縦軸の単位はマイクロガル ( $\mu\text{Gal}$ ) である。エラーバーは一律  $\pm 1\mu\text{Gal}$  とした。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。

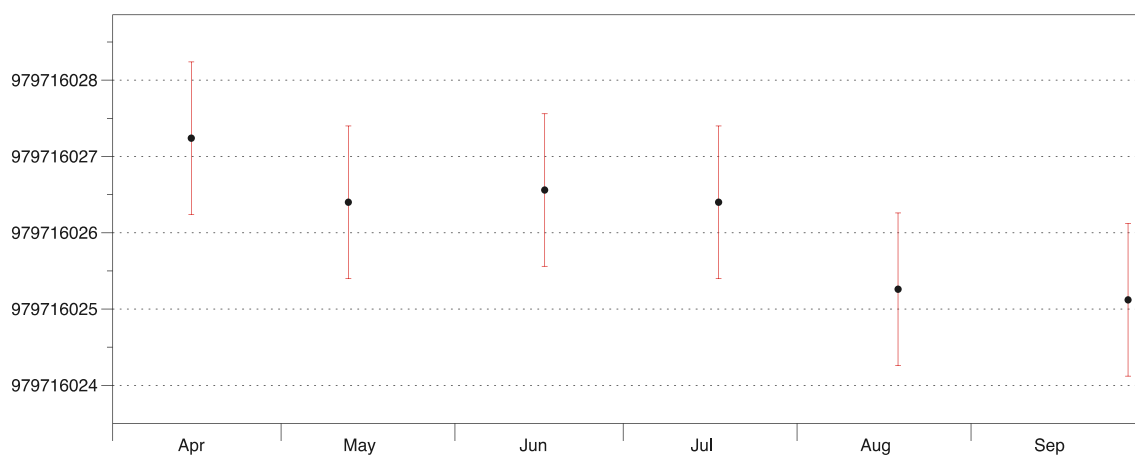


図 1.1.3a 絶対重力計 FG5 による研究所測定室での絶対重力値 (2020 年 4~9 月)。縦軸の単位は  $\mu\text{Gal}$ 。測定は原則、2 日間での 4800 もしくは 9600 ドロップにより決定している。

一方、同じ基台で連続観測している gPhone#153 重力計の結果を図 1.1.3b に示す。データ処理は、前処理を経て 1 時間値化した後に Baytap08 (Tamura and Agnew, 2008) により潮汐成分と気圧応答成分を除去とトレンド成分を得て、Tsoft (Van Camp and Vauterin, 2005) によりステップ補正 (図 1.1.3b 上) と直線 fitting (図 1.1.3b 中) により、残差重力 (図 1.1.3b 下) を得た。絶対重力値はこの間  $2\mu\text{Gal}$  程度の変動で収まっているので、gPhone の半年間単一の直線近似では非線形成分が残ったと思われる。絶対重力測定が正しいとすると、7 月極小とする二次関数をフィットして差し引き、更に全期間で  $2\mu\text{Gal}$  程度の重力減少となるようなリニアトレンドを付加する必要がある。それを考慮しても振幅が  $2\sim 4\mu\text{Gal}$  程度の変動がいくつも残り、立坑埋め戻し直接・間接の変動の抽出は困難である。

図 1.1.3c は gPhone#153 と戸狩観測壕設置の gPhone#130 の傾斜計の記録である。戸狩観測点の工事により、傾斜擾乱が多発した。図 1.1.3a に 2020 年 4 - 9 月の各 gPhone の傾斜値を示す。ただし、これらは 1 時間値化した段階であるので、実際には更に大振幅のパルス状擾乱が生じている。この傾斜擾乱は  $5\mu\text{Gal}$  以下程度の補正量となり、解析結

果への影響は小さいと思われる。両重力計は大局的には long, cross 方向に増加、即ち #130 は東傾斜、#153 は北傾斜を示し、埋め戻し工事との関連も今後検討したい。

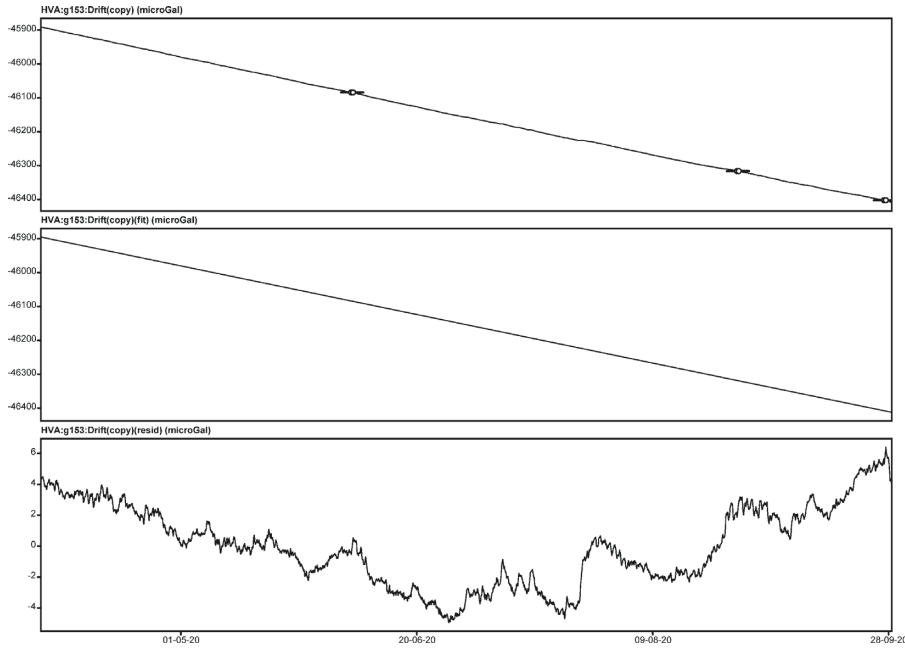


図 1.1.3b gPhone#153 の測定結果。縦軸の単位は  $\mu$  Gal、横軸は UT の dd-mm-yy (日-月-20yy 年)。(上段) : Baytap08 出力のドリフト (or トレンド) 成分にステップ補正 (3 箇所、いずれもステップ量は 10~20  $\mu$  Gal) を適用、(中段) : 直線を最小二乗フィッティングしたセンサードリフト成分、(下段) : 上段から中段を引いて得た残差重力値。

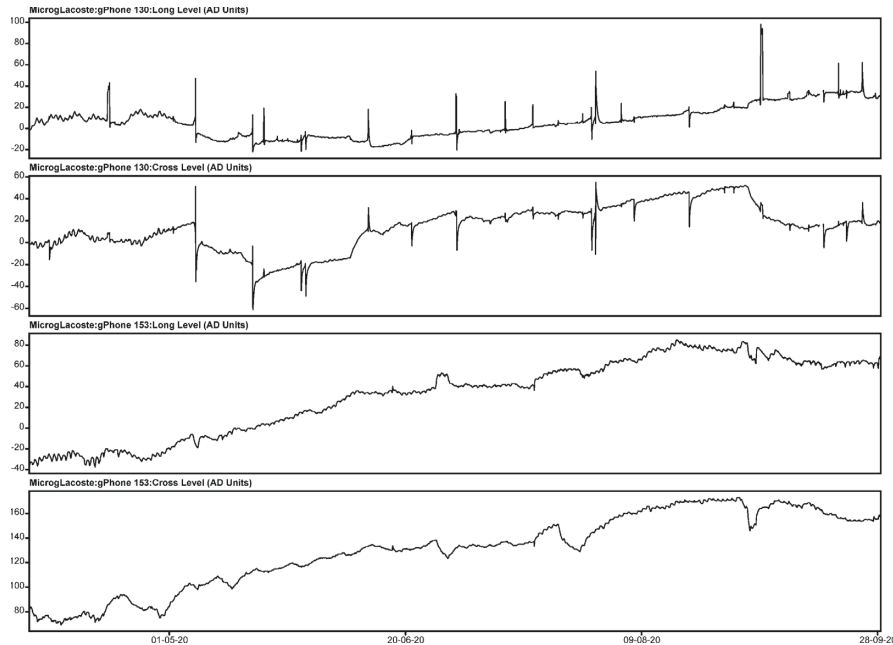


図 1.1.3c 2 台の gPhone の傾斜記録。縦軸の単位は AD unit (これにユーザー決定の  $10^{-7}$  オーダーの係数を乗ずると radian 単位になる。上から #130 long 成分、#130 cross 成分、#153 long 成分、#153 cross 成分)。

### 1.1.4 立坑埋め戻しによる応力・水圧・水位変動について

#### はじめに

立坑掘削は2002年に開始された。当研究所の近くにある国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（JAEA）の立坑掘削の途中で立坑内に湧水が発生し、その後、排水を実施した。これに伴ってTGR350の歪計・傾斜計と水位計やTGR165の歪計・傾斜計に変動が観測され、立坑を横切って存在する地質断層であるNNW断層との関連性が推測された（石井・浅井、投稿中：2020）。今回、2021年2月からJAEAの深度500mの立坑の埋め戻しが開始された。立坑内には深度500mにボアホール応力計・水圧計と地震計が設置されており、深度200mにボアホール応力計が設置されている（図1.1.4a）。また、立坑から約400m離れたところには320m深度のボアホールがあり多成分歪計・水位計が設置されている（図1.1.4b）。埋戻しに伴った変化の観測により、地下水流動に関する情報やNNW断層との関連性に関する新しい情報が得られると期待される。ここでは埋め戻しの途中までのデータを整理した結果を報告する。

#### 観測結果

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。図は2021年2月5日までの観測結果を示す。データは立坑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を示している。そのほかに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ている。図1.1.4cはそれをプロットした結果である。図1.1.4dにはそれまで埋め戻し完了した部分を示した図である。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。

石井 紘・浅井康広、2020：地下水流動によって明らかになったNNW断層と歪変動の関連性— 湧水・排水の場合 —、「地震」投稿中



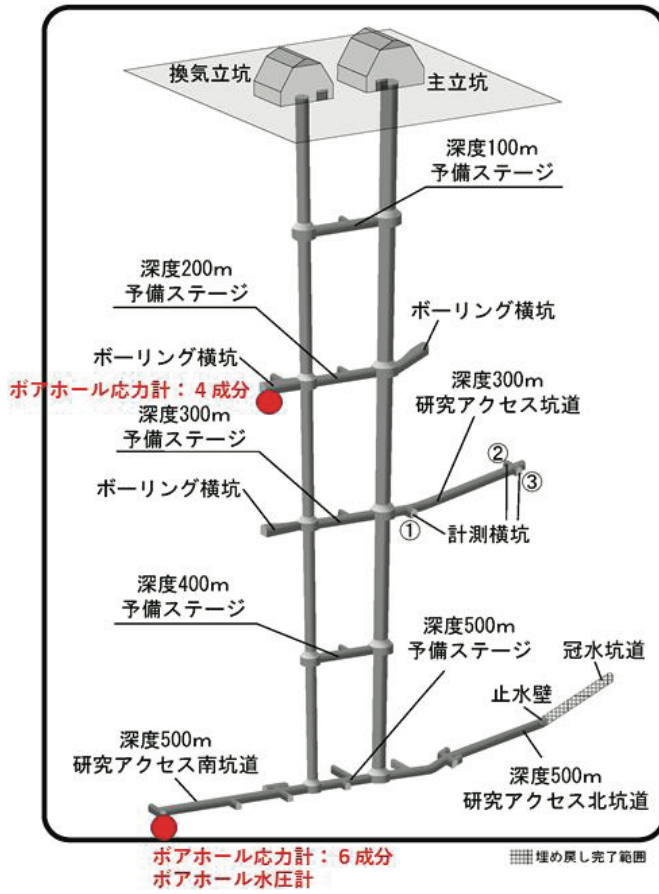
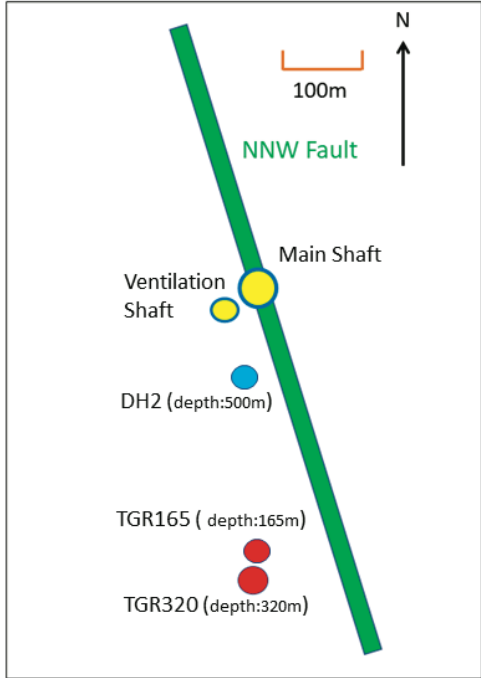


図 1. 1. 4a : 立坑内に設置した計器

図 1. 1. 4b : 立坑, NNW 断層とボアホール観測点設置した計器



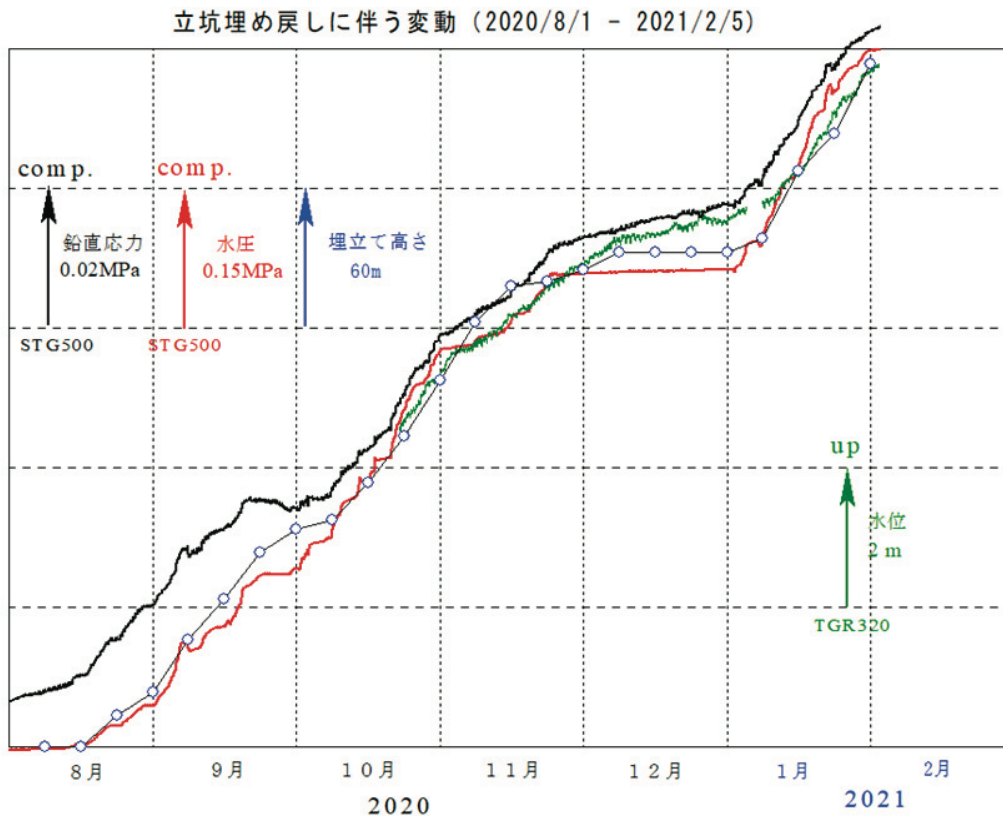


図 1. 1. 4c :  
立坑埋め戻しの位置と立坑内のボアホール応力計鉛直成分、水圧とTGR320で観測された水位変化

図 1. 1. 4d: 500m 立坑内の埋め戻し状況

