

深地層研究施設整備促進補助事業

(岐阜県瑞浪市の深地層研究施設を活用する試験研究等に係る事業)

資料 B 研究開発実施者提供資料

2017年度（11月版） 東濃地震科学研究所 スタッフ



所長
石井 紘



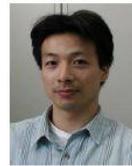
副首席主任研究員
木股 文昭



副首席主任研究員
古本 宗充



主任研究員
浅井 康広



主任研究員
田中 俊行



副主任研究員
村上 理



客員研究員
太田 裕



客員研究員
鈴木 貞臣



客員研究員
川崎 一朗



客員研究員
佐野 修



客員研究員
國友 孝洋



客員研究員
田坂 茂樹



客員研究員
笠原 稔



客員研究員
松多 信尚



客員研究員
村瀬 雅之



参事
宮島 力雄



参事
可知 勝宏



事務補助員
小栗 成子

H26中間評価：評価概要

1. 事業に関する総合評価

[肯定的意見]

○1 事業設立の意義や研究施設の立地を背景として、その特徴を活かした最大限の活用を目指すとする事業計画であり、着実に研究体制が確立されてきた。これを基盤として、さらにユニークな研究成果が期待される。

○2 地道な観測や関連機関との連携により、限られた研究員数ながら想定以上の成果が得られている。データもオープンにするなど、外部との研究協力体制は良く機能していると思うが、更なる大学・研究機関との連携により資金、員数の支援が必要である。

○3 地元住民に対する説明、啓発などは学校訪問や地域のイベントを利用して随時行われており、理解を得るための努力が成されている。

○4 本事業は（1）深地層研究施設を活用した内陸地震の研究と、（2）東濃における地域地震防災の研究の二本立てであり、どちらも広範囲の研究領域にわたる研究事業である。（1）では深部基盤からの強震動の増幅のメカニズムや地震発生による様々な物理量の変化などをとらえることに主眼を置いており、今後の研究成果が期待される。

○5 地下深部空間を利用した応力など地殻活動や地震動観測は貴重であり、観測計器の開発も含めて今後も継続して進めて欲しい。

○6 東濃地震科学研究所（TRIES）で開発・改良を続けているデジタル式地殻活動総合観測システムや応力計は、世界最高水準の装置である。このシステムをポアホール異なる深さに複数設置して、高品質の観測データを長期にわたって取得していることは地球内部物理学の研究発展に大きく貢献している。

○7 深地層研究所施設を活用した技術の開発研究等は、地震発生関連現象を高精度で観測研究ができ、確実に成果を得ていると評価する。

○8 石井所長を中心に開発を進めてきた深部ポアホール総合観測計器は、気象庁や産業総合技術研究所、大学等において地殻活動観測に広く活用され、南海トラフ沿い巨大地震の予知のための監視にも用いられて、多大な成果をあげている。

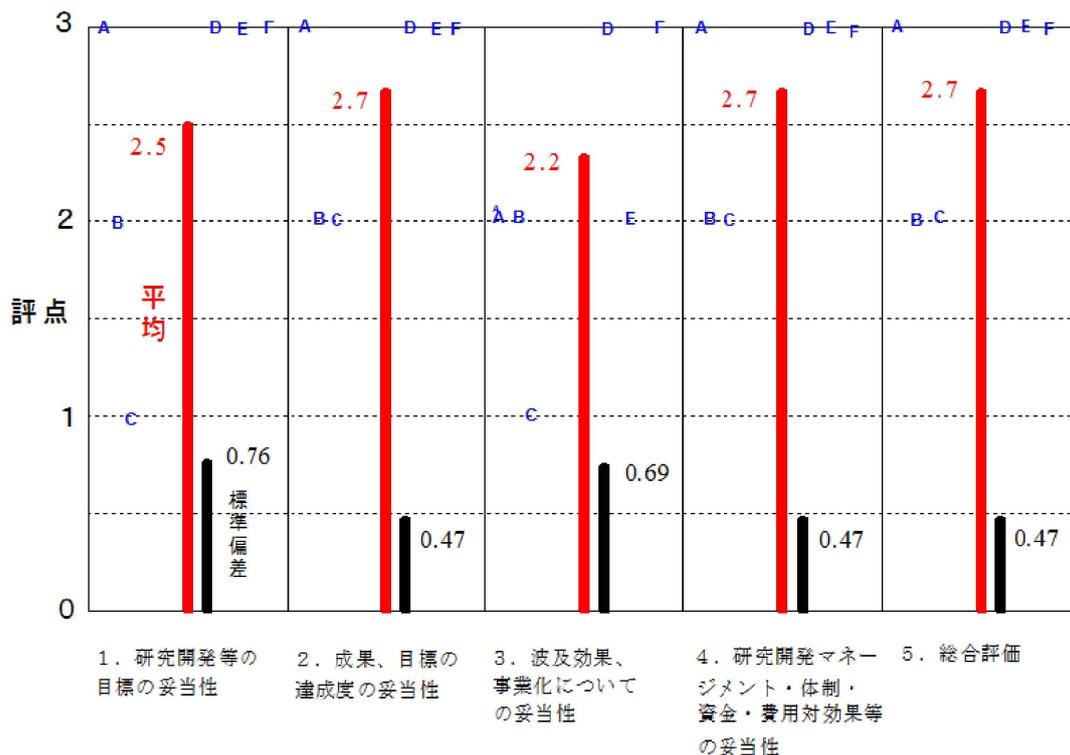
○9 若い有能な研究者が採用されて、研究陣も大いに充実したと見受けられる。保有している観測機器や設備を生かして適切な研究課題を設定した上で研究を進めれば、科学的に第一級の研究成果を上げることも十分に期待できる。

[問題点・改善すべき点]

- 1 観測施設は、そのユニーク性故に極めて貴重なデータが得られつつある。これらを基に、地殻活動に対する普遍的な課題に何処まで迫れるかを意識して取り組んでいただきたい。
- 2 問題点の多くは、限られた人数と資金によるところが大きい。現在の限られた体制にもかかわらず期待される以上の成果を生み出していると思うが、この先の発展には更なる人的支援により時間的な余裕を確保することと資金面での援助が必要となる。それが叶えられれば、極めて大きな効果や事業化への発展を見込むことが出来よう。
- 3 しかしながら、ここ数年、毎年資金が減少している現実からして、研究テーマの木目の細かな検討に基づく重点化を行い、焦点を絞ることも肝要となるであろう。
- 4 本来の目標の一つである地域の地震防災に資するには、更なるデータの蓄積と研究が必要である。また、それを普及するための方法についても追求していただきたい。
- 5 国の原子力行政や地震発生状況に応じて、研究者の意識も変わってくると思うので、これまでの研究を活かしてより発展的に軌道修正出来るような体制があつてしかるべきである。現状に硬直せず、フレキシブルに対応することが求められる。外部からの意見を取り入れることも効果的なので、より外部の研究者と連携した研究を推進することが望まれる。
- 6 東濃における地域地震防災の研究では主に表層地盤の特性によるゆれやすさの広域分布の解明を主たる目的とした事業であるが、地域の防災・減災に直結した実用的な成果を得るには別の観点からの検討が必要であると思われる。当該地震での強震記録データベースが作成されており、これらの活用が期待される。
- 7 観測中心の事業計画になっているので致し方のない面はあるかもしれないが、研究成果に観測事実や一次解析結果の羅列が目立ち、研究開発の目標とその達成への手順がかならずしも明確でない印象を受けるのが残念である。
- 8 「2. 目標」のH17～H25第4次中間時の「目標・指標」には「内陸地震の研究」と書かれているが、評価時点の「目標・指標」では「プレート境界地震活動の観測」となっている。そして、「設定理由・根拠等」には「東濃は海陸プレート相互作用の場」と書かれているが、通常プレート境界地震という用語は、M9前後の海溝型巨大地震を指すので、もう少し丁寧な説明が必要であろう。
- 9 研究委員会では外部の研究者による研究紹介も行われているが、その内容は研究所での課題研究の推進に必ずしも直結していないものもあるように思われる。毎回とまでは言わないまでも、時折、テーマを絞りながら、地域の一般の人たちも参加できるような形で研究発表会を開くことも、研究所の存在意義や研究へのモチベーションを高めることにつながるのではなかろうか。

H26中間評価：評点結果

委員 6 人の評点



H26～H28年度事業

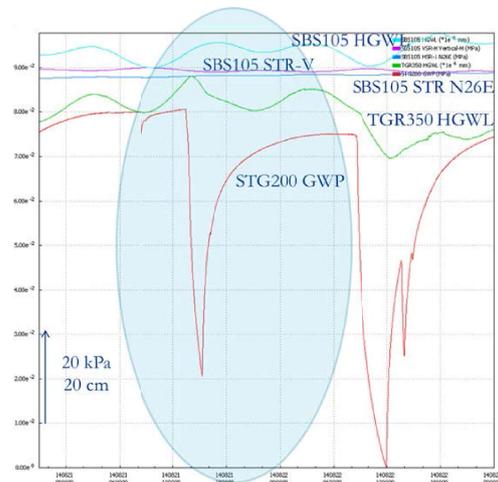
地殻活動連続観測から見る瑞浪超深地層研究所周辺の地下水流動 [H26]

瑞浪超深地層研究所（MIU）では立坑掘削や試錐孔における水理試験、観測装置の出し入れによって坑道内に毎分数十リットル～数百リットルといった大量湧水が生じている。この大量湧水は土岐花崗岩中の間隙水圧の擾乱を生じさせ、立坑およびその周辺域の間隙水圧状態を変化させている。

2014年8月21日～22日に、深度300mボーリング横坑（換気立坑側）既存水圧観測孔でのモニタリング装置の撤去作業があり、土岐花崗岩中の間隙水圧に擾乱が生じた。

観測結果：STG200水圧記録、TGR350の水位記録・歪計記録に影響が出ている（右図）。SBS105の水位記録と応力計記録には水圧変動の影響が出ていない。

MIUで生じた土岐花崗岩中の間隙水圧擾乱（振幅100kPa=水頭換算1m以下）は距離約500mに位置するTGR350では影響が見られるが、距離約1kmの正馬様SBS105には影響が及んでいないことが明らかとなった。



ボアホール地殻活動総合観測システムの改良 [H26]

地上装置部

「コマンド発行・データ送受信装置」は当初19インチラックに収納することを前提とした幅483mm、奥行き475mm、高さ88mmの設置面積であった。超深地層研究所の坑道内や瑞浪観測坑道などの限られた設置スペースに設置が行えるよう、寸法を幅483mm、奥行き365mm、高さ88mmと奥行きを省スペース化を行ない、かつ、周辺機器等からの外来ノイズに対する遮蔽性を高め、安定した動作が行えるよう機器の改良を行った。

応力計本体

天井高3.5m以内という制限がある瑞浪超深地層研究所深度500mステージ坑道内での埋設・設置作業を想定し、従来3.617m長の応力計を「光モジュール・モーター制御部」のユニット（長さ1.742m）と「方位計・磁力計・応力計・温度計部」のユニット（長さ2.655m）の二つに分割し、その間を電源・TTL信号ケーブルで結ぶ構成の『分離型光デジタル式石井式応力計』を開発した（下図）。



正馬様105m観測孔における応力計連続観測 [H26]

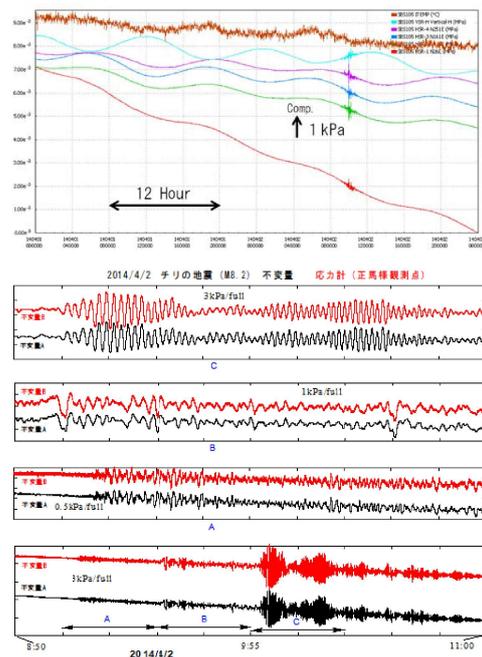
瑞浪超深地層研究所（MIU）立坑掘削の影響がどのように、かつ、どの範囲まで及んでいるかの調査・研究を行うことを目的として、平成25年度末に正馬様用地内に105m孔（SBS105）を整備した。

（石井式ボアホール応力計を埋設・設置）

観測結果：整備完了約1ヵ月後の2014年4月1日0:00から4月3日0:00までの2日間の記録。埋設直後の記録のドリフト（Extension：水平で1 kPa/day、垂直で3.5kPa/day）が見られるが、弾性論から予測される応力の潮汐変化を観測しているとともに、南米で発生したチリ地震（2014/4/2; Mw8.2）の応力地震波形が記録されている（右上図）。

チリ地震前後の応力計不変量時系列。P波到達からそれ以降のフェーズが一致している（右下図）。

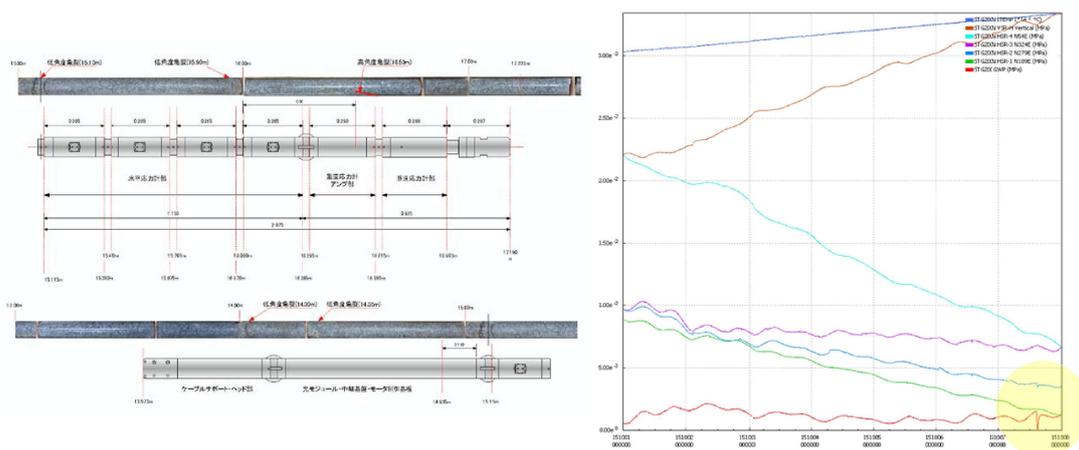
⇒応力計は土岐花崗岩中に膨張セメントによって良好に埋設・設置され、弾性論を満たす観測が行えていると判断した。



200mステージ新規18m孔整備(STG200N)と応力計の埋設・設置 [H27]

MIU深度500m研究アクセス北坑道冠水坑道における「再冠水試験」によって生じる冠水坑道周辺の間隙水圧回復過程（水圧、応力）の連続観測を行うことを主目的とし、MIU深度200mボーリング横坑（換気立坑側）に新規18m孔を掘削、ボアホール応力計を埋設・設置した（下図左：埋設・設置区間のコア写真）。

観測結果：埋設・設置後から約12日間のデータを下図右に示す。潮汐変化が観測されるとともに、MIU坑道内深度500mの調査孔掘削・水理試験等に伴う水圧変動による応力変化が観測されている。

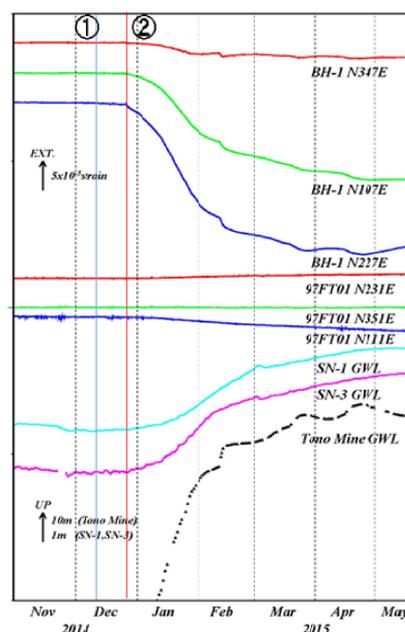


東濃鉱山再冠水に伴う地下水／歪変化[H27]

東濃鉱山では、2012年3月に地下坑道の充填作業（埋め戻し）を開始、2014年12月に坑道内に設置されていた排水ポンプが停止（右図①）、坑道内の冠水が始まった。排水ポンプ停止時点ではBH-1の歪計各成分に大きな変化は見られなかった。

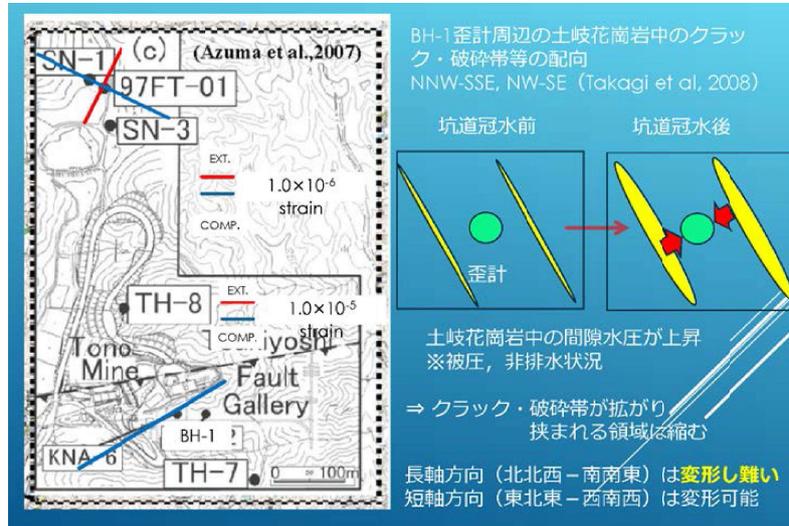
観測結果：12月27日19時頃からBH-1歪計各成分に急激な歪の縮みが始まり、変化が終息の傾向になった2015年4月末までに、BH-1では最大主歪 -1.075×10^{-6} strain、最小主歪 -5.448×10^{-5} strain、面積歪 -5.556×10^{-5} strainが観測された（右図②）。特に東北東－西南西方向に縮みが卓越する。

坑道の充填作業は2015年3月に坑道の閉鎖が完了している。



東濃鉱山再冠水に伴う地下水／歪変化[H27]

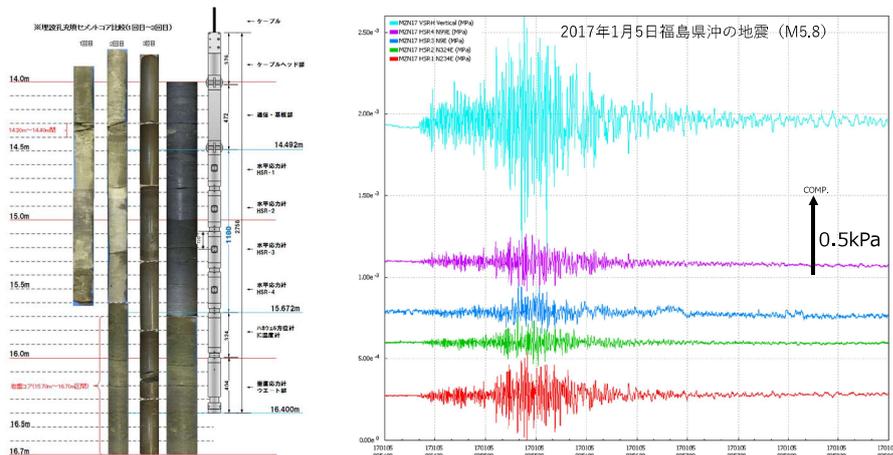
考察：BH-1において東北東－西南西方向に縮みが卓越する歪場を説明するメカニズムを下図に示す。図に示す様な破砕帯（NW-SE走向）に挟まれた位置に歪計があり、間隙水圧の上昇によってクラック・破砕帯が拡がり、相対的に歪計の位置では縮みの場となることが説明可能。



瑞浪観測壕内新規17m孔整備と応力計の埋設・設置 (MZN17) [H28]

JAEAが平成27年度8月より行っている瑞浪超深地層研究所深度500m研究アクセス北坑道冠水坑道における「再冠水試験」によって生じる冠水坑道周辺域の間隙水圧回復過程とそれに伴う堆積岩（瑞浪層群）内の応力連続観測を行うことを主な目的として、平成28年11月より瑞浪観測坑道内に新規17m孔を掘削（φ123.0mm、掘削深度16.7m）、石井式ボアホール応力計を埋設・設置した（下図左）。

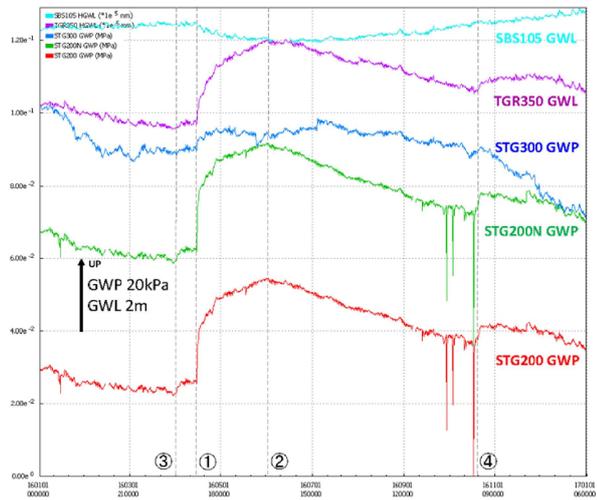
観測結果：水平応力計で全振幅約0.2～0.5kPa、垂直応力計で全振幅約1.5kPaの明瞭な応力地震波形が観測されている（下図右）。



瑞浪超深地層研究所立坑内および周辺域で観測された熊本地震に伴う間隙水圧／地下水位変化 [H28]

観測結果：2016年4月16日1時25分に発生した平成28年（2016年）熊本地震（Mj7.3）の地震動に伴う指数関数的な間隙水圧／地下水位変化が、震源距離665kmの瑞浪超深地層研究所（MIU）内観測点STG200N、STG200およびMIUの南約500mに位置する戸狩観測点TGR350で観測された（下図①）。

地震に伴う間隙水圧変化および水位変化はそれぞれ6月5日にピークに達し（右図②）、STG200Nで30.0kPa、STG200で28.0 kPaまで水圧が上昇しその後減少、TGR350では2.3mまで水位が上昇しその後低下している。他、SBS105水位記録にも地震動に伴う地下水位低下が見られる（右図①）。他、4月1日三重県南東沖の地震（Mj6.5；③）や10月21日鳥取県中部の地震（Mj6.6）の地震動に伴う間隙水圧／地下水位変化（④）がSTG200N／STG200およびTGR350で見られるがSBS105水位記録には見られない。



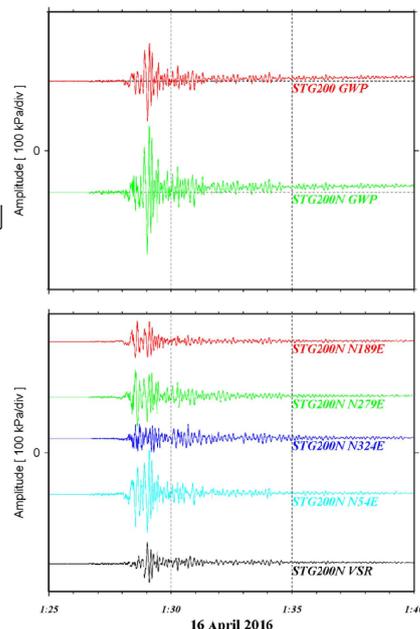
瑞浪超深地層研究所立坑内および周辺域で観測された熊本地震に伴う間隙水圧／地下水位変化 [H28]

右図：4月16日1時25分から1時40分の15分間のSTG200N／STG200のボアホール応力計および水圧計の記録。

観測結果：STG200NおよびSTG200観測点では1時29分頃にpeak-to-peakの最大振幅20.212kPa(N324E)～59.079kPa(N54E)を観測した。

両孔の水圧計記録にも同様に水圧地震波形が観測されており、その水圧変動のpeak-to-peakの最大振幅は応力計記録と同じ1時29分頃に92.4 kPa（STG200N）および55.5 kPa（STG200）であった。

これらの記録から、指数関数的な間隙水圧／地下水位変化は最大振幅の応力地震動が通過時に生じていることがわかる。



再冠水試験前後の立坑内および周辺域の観測記録について [H28]

JAEAの超深地層研究所計画では、深度500m研究アクセス北坑道において、坑道の一部を閉鎖し地下水により冠水させる「再冠水試験」を実施している（笹尾，2016）。

1回目（2015年8月26日～9月14日）

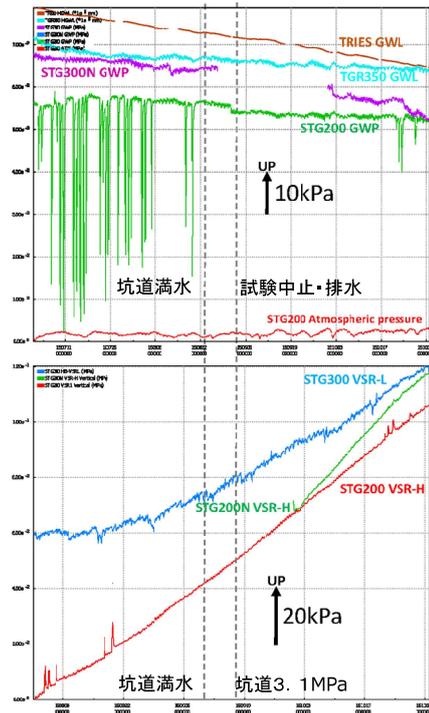
2回目（2016年1月8日～）

右図上：第1回目の再冠水試験を含む3か月間の各観測点における水圧記録と垂直応力計（VSR-H）の記録の比較図

右図下：同第2回目の比較図

観測結果：第1回目および第2回目の再冠水試験による間隙水圧変化に伴う応力変化は、STG300およびSTG200Nでは観測されなかった。

なぜ観測されなかったか：水圧変動およびそれに伴う岩盤中の応力変化が生じない理由としては、再冠水坑道周囲の花崗岩の透水係数が $10E^{-8}$ オーダー以下と小さいこと（露口・他,2013）、研究アクセス北坑道の掘削方向（ $N41^{\circ}E$ ）には主立坑断層のダメージゾーンが連続しない（鶴田・他, 2013）ため、深度500m～200m間には高角度割れ目の連続性が無いこと等が原因と考えられる。

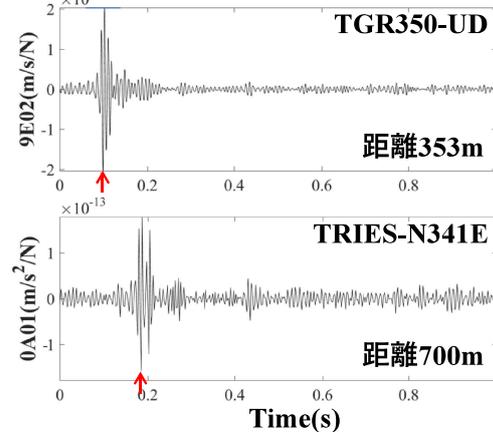


I. 深地層・地下空間における観測技術の開発および地下水流動研究

制御震源の開発と実用化 超磁歪震源の高性能化



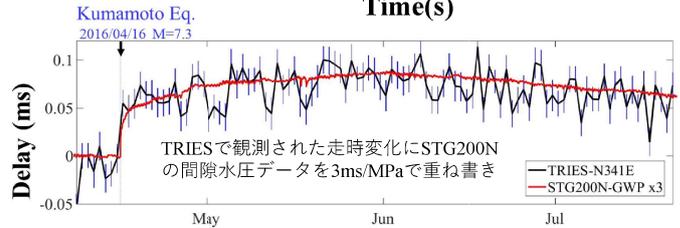
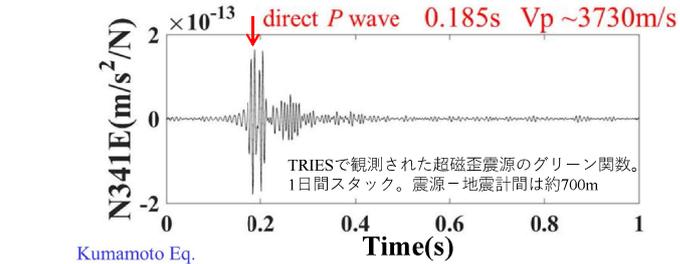
ボアホール総合観測装置の加速度計での観測例
1時間スタックしたグリーン関数



平成22年度から平成27年度にかけて開発および試験的運用が行われていた超磁歪素子を用いた矩形弾性波制御震源の問題点を見直し、GPS時計に完全同期し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装置を開発した。その結果、700m程度離れた観測点でも1時間程度スタッキングすれば明瞭なP波が観測できるようになった。

制御震源の実用化と有用性の検証

熊本地震によるP波速度変化と間隙水圧変化との対応を観測

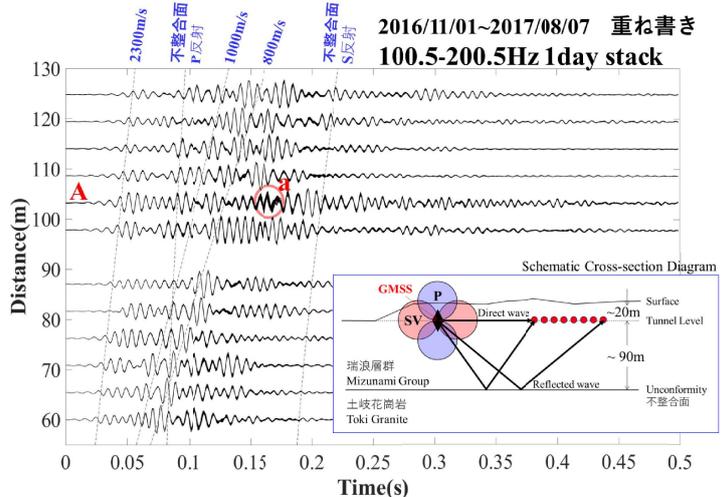
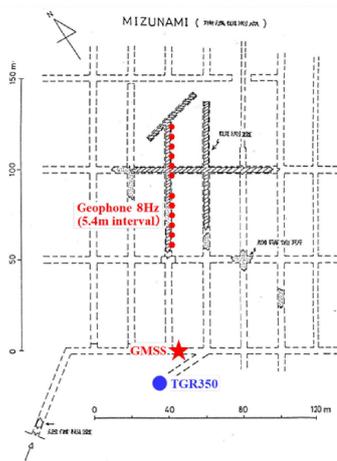


2016

高性能化した超磁歪震源による長期間モニタリングを開始した。1日間スタックデータを用いれば、700m離れた観測点でも約 $25\mu\text{s}$ の精度で走時変化を追跡できる。熊本地震では $60\mu\text{s}$ のステップ状の走時遅延が観測され、その後の変化は200m深度(STG200N)の間隙水圧変化と似たパターンを示した。間隙水圧の変化によるクラック開口率の変化をP波速度変化として観測していると考えられる。

制御震源の実用化と有用性の検証

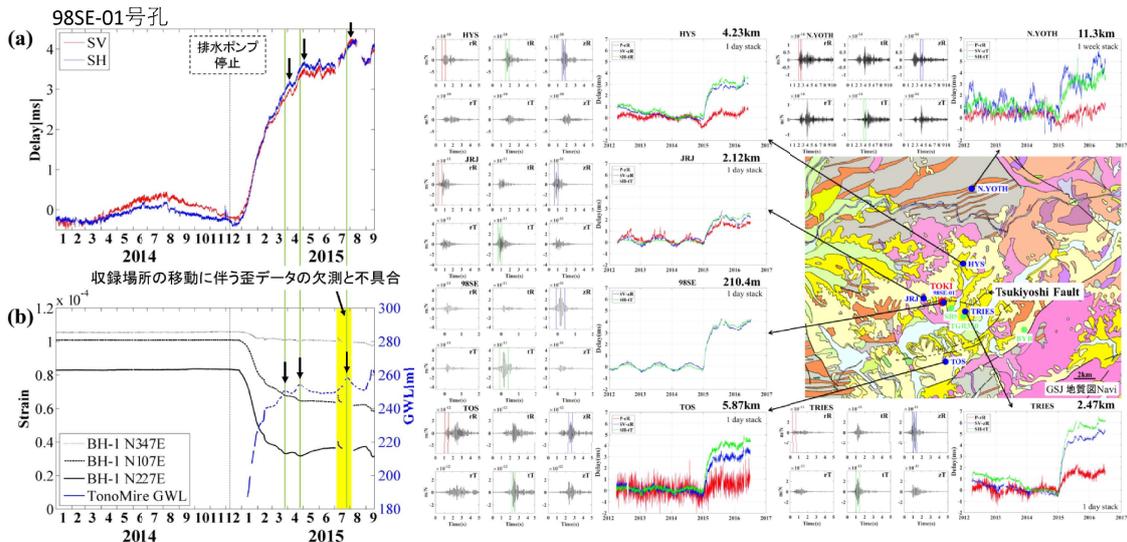
超磁歪震源によるモニタリングの空間解像度の検証



超磁歪震源の信号を小規模な地震計アレイを用いて観測し、モニタリングの空間解像度を調べた。約1年間の観測で距離103mの観測点Aで大きく変化するフェーズaを確認した。ペーストアップでのフェーズの並びから瑞浪層群内の反射波であると考えられる。S波の波長は5-10mであり、前後のフェーズや隣の観測点がほとんど変化していないことから、フェーズaに対応する領域の大きさは数m程度と考えられる。

II. 深地層における地震発生関連現象の総合的研究

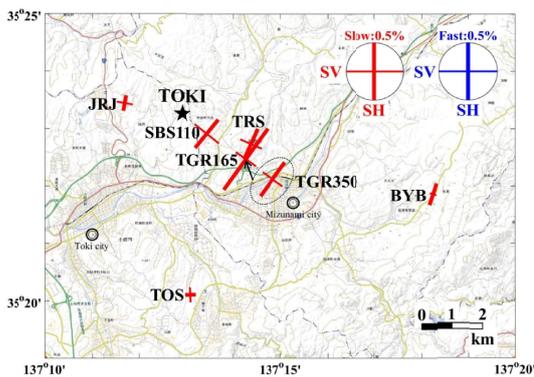
東濃鉱山の坑道閉鎖後の再冠水による地震波速度変化



東濃鉱山の地下坑道充填および排水ポンプ停止後に、S波速度の顕著な低下が土岐の弾性波アクロス信号の観測によって検出された（左図a）。S波速度の変化は、地下坑道内の地下水位（間隙水圧）の上昇や歪計のデータとも調和的である（左図b）。また遠方の東濃地震科学研究所の地震計では、排水ポンプ停止前に発生した下盤坑道の浸水に対応するP波速度の上昇も観測されている（右図、HYS,N.YOTH,TOSの赤線）。

III. 活断層域における内陸地震の発生機構に関する研究

東北地方太平洋沖地震によるS波速度変化 弾性波アクロスとボアホール観測網とのコラボレーション



【左図】土岐(TOKI)の弾性波アクロス信号を東濃地震科学研究所のボアホール総合観測装置で観測して得られた東北地方太平洋沖地震（2011年3月11日M9.0）によるSV波（細い赤線）とSH波（太い赤線）の速度変化。送信点(★)の南東部でS波（特にSH波）の速度が遅くなっているのが分かる。

【右図】東濃地震科学研究所の歪計および応力計で観測された東北地方太平洋地震による歪および応力変化。NE (NNE) - SW (SSW) 方向に延びる変化をしており、NW(WNW)-SE(ESE)方向の鉛直クラックが延びの方向により多く開口したと考えれば、S波の速度変化の異方性のパターンが説明できる。

