

2.2 地震のメカニズム研究への歪計・応力計の利用法の研究

2.2.1歪計(屏風山・東濃地震研究所・観測点)と応力計(陶史の森・日吉・正馬様・深地層研 ステージ200・観測点)で記録される地震動の研究

東濃地震科学研究所では、1997年4月の設立以来、ボアホール埋設型の石井式歪計・応力計の開発改良を進めてきた。特に、2003年3月末の屏風山観測点（深さ1020m）に4成分歪計を埋設して以来、順次観測点を増設し、2015年夏以来、6点の多成分歪計・応力計が105m深～1020m深のボアホールに設置され稼動している。これらで観測される地震動記録は比較的単純な波形を示していることから、その最大振幅に注目して、震源距離によるその減衰が決まれば、地震規模の推定が容易にできる。観測された地震の震源と規模(マグニチュード)は気象庁のデータに基づき、観測された歪地震動と応力地震動の最大振幅を求め、マグニチュード (M_{JMA}) - 観測歪・応力最大振幅 (ϵ 、 σ) - 震源距離 (R) の関係を整理してみた。2点の歪計記録と4点の応力計記録の結果について、その後の追加修正を加えて全体を並列し総合的な検討を行った。

最も観測期間の長い屏風山観測点 (BYB) について、最大歪振幅 (ϵ ; 10^{-6} : 縦軸) - 震源距離 (R ; km: 横軸) 座標に地震の規模 (M_{JMA}) 別に分類して観測歪最大振幅をプロットしたものが図1である。その結果をM3～9までM1毎に直線と点線で示してある。M別のマークがこれらの線により明瞭に分離しているのが分かる。

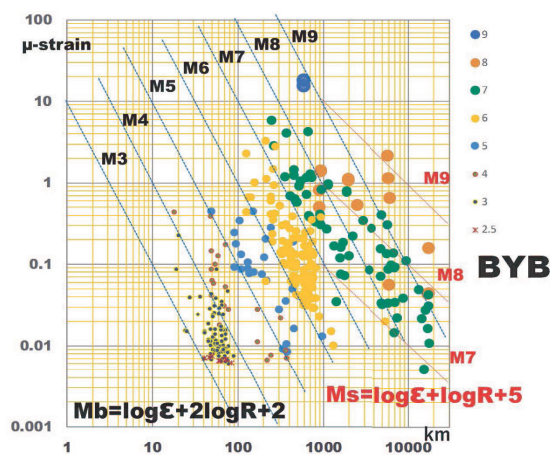


図1. BYB観測点で記録された歪地震動の最大振幅(縦軸)と震源距離(横軸)と地震規模(M)別の関係

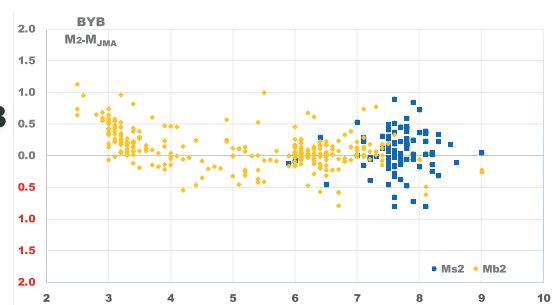


図2. BYB観測点の歪地震動最大振幅と震源距離から求めた地震規模 M_2 と気象庁マグニチュード M_{JMA} (横軸)との差(縦軸)の分布

震源距離1000km付近を境に振幅の減衰は大きく異なり（実体波的吗表面波的吗）関係式は図中にも示したような2つの式 (ϵ ; 10^{-6} 、 R : km)

$$Mb = \log \epsilon + 2 \log R + 2 \quad (R < 1000 \text{ km}) ; \quad Ms = \log \epsilon + \log R + 5 \quad (R > 1000 \text{ km}) \quad (A)$$

になる。 (A) 式より観測歪地震動最大振幅から求まる M (M_s , M_b) と気象庁マグニチュード M_{JMA} の差をプロットして見たものが図2である。M2～9までの広い範囲で ± 0.5 に収ま

っている．差のメディアンをとると0.07となり、BYB観測点では（A）式を $M-\epsilon-R$ 関係式として採用する．BYB観測点に次いで設置されたTRIES観測点（歪計観測点）の観測結果も、BYB観測点と同様の傾向が得らる．TRIES観測点の観測歪地震動最大振幅から求まる M と M_{JMA} の差を見ると、 M が大きいこと（これは個々の地震の比較でも明らかである）が明瞭で、その差のメディアンが、Mbで0.31、Msで0.07となる．それらを（A）式の定数項の補正に使い、TRIES観測点に関しての $M-\epsilon-R$ 関係式が得られる．

$$Mb = \log \epsilon + 2\log R + 1.69 \quad (R < 1000\text{km}) ; Ms = \log \epsilon + \log R + 4.93 \quad (R > 1000\text{km}) \quad (B)$$

応力計による観測は、陶史の森（TOS）観測点が最初で、2010年3月下旬から始まる．歪地震動同様に観測応力地震動最大振幅を図1同様の座標にプロットしたものが図3である．

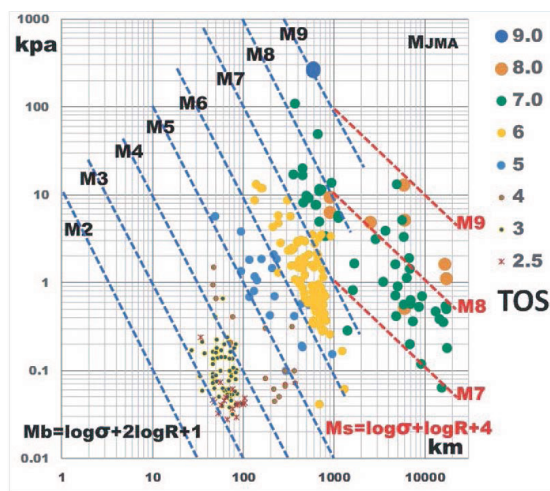


図3. TOS観測点で記録された応力地震動の最大振幅（縦軸）と震源距離（横軸）と地震規模(M_{JMA})別の関係

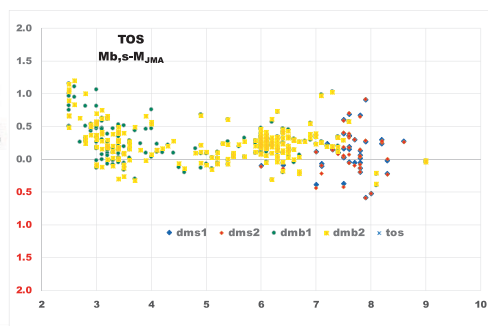


図4. TOS観測点の歪地震動最大振幅と震源距離から求めた地震規模 M と気象庁マグニチュード M_{JMA} （横軸）との差（縦軸）の分布

$M-\sigma-R$ (σ ; kPa、 R : km) 関係式として、

$$Mb = \log \sigma + 2\log R + 1 \quad (R < 1000\text{km}) ; Ms = \log \sigma + \log R + 4 \quad (R > 1000\text{km}) \quad (C)$$

を最初に仮定した． $M2 \sim 9$ に対して $M1$ 毎の関係が青点線、赤点線で示されているように、1次近似としては妥当である．最終的な定数項の補正のためには、歪同様に（C）式から、応力地震動最大振幅から求まる M と M_{JMA} の差を検討する．TOSについてそれをプロットしたのが図4である．明らかに、 M の方が大きくなっているが、その差は M の広い範囲で一定である．この差のメディアンは、Mb:0.22、Ms:0.11で、これを定数項より引けばよい．TOS観測点の $M-\sigma-R$ 関係式は、次のようになる。

$$\text{TOS: } Mb = \log \sigma + 2\log R + 0.78 \quad (R < 1000\text{km}) ; Ms = \log \sigma + \log R + 3.89 \quad (R > 1000\text{km}) \quad (D)$$

同様に、残りの応力3観測点について、それぞれで観測される応力地震動最大振幅から求まる M と M_{JMA} の差のメディアンは、HYS観測点、 $M_b:0.25$ 、 $M_s:0.27$ ；SBS観測点、 $M_b:0.27$ 、 $M_s:0.13$ ；STG観測点、 $M_b:0.48$ 、 $M_s:0.25$ 、となる。それぞれの観測点の観測点の M - σ - R 関係式は、次のようになる。

HYS: $M_b = \log \sigma + 2 \log R + 0.75$ ($R < 1000 \text{ km}$) ; $M_s = \log \sigma + \log R + 3.73$ ($R > 1000 \text{ km}$) (E)

SBS: $M_b = \log \sigma + 2 \log R + 0.73$ ($R < 1000 \text{ km}$) ; $M_s = \log \sigma + \log R + 3.87$ ($R > 1000 \text{ km}$) (F)

STG: $M_b = \log \sigma + 2 \log R + 0.52$ ($R < 1000 \text{ km}$) ; $M_s = \log \sigma + \log R + 3.75$ ($R > 1000 \text{ km}$) (G)

2.2 東濃地震科学研究所の歪・応力・地震動データベースの再構築 —収録地震の追加

2016年4月末に、それまでに蓄積されている東濃地震科学研究所の歪計・応力計ネットワークで記録された地震動記録の収録を始めた。その時点では、大雑把な領域設定と地震規模 M の下限を設定したが、収録しながら、領域と M 下限の修正が必要なことが判明した。2016年5月以降は、既存の6観測点に関して条件を見直ししながら、月毎にアップデートする形で収録を進めてきた。さらに、新たに設置された瑞浪観測横坑の17m深の応力計、深地層研ステージ500（500m深の意）の応力計、のデータも収録されている。2016年4月までの収録結果から、地震規模 M と震源距離 $R(\text{km})$ と観測される地震動の最大振幅 $A(\mu \text{ strain, kPa})$ の関係を明らかにできたので、これに基づき良好な ($S/N > 5$) 地震記録の得られる、ある R についての M の下限がきめられるので、あらたな領域設定と M 下限を決めなおして、新しい（取りこぼしの無い）条件で、2018年1月からは収録を進めてきた。当研究所のこれまでの観測記録の地震動アーカイブスとしての完全性を保つために、2018年以前の期間についても、新条件での地震検索を行い取りこぼしていた地震動（約1,000個）の収録を2019年5月から行い、2019年12月まで、アーカイブがほぼ終了したところである。公開へ向けての準備を進めている。

成果発表

笠原稔・浅井康広・石井紘「東濃地震科学研究所の石井式歪計応力計で観測される地震動最大振幅と地震規模の関係について」日本測地学会第132回(2019)講演会発表

2.2.2 ボアホール応力計による周辺応力場の決定に必要なモルタルや岩盤の弾性率の評価法に関する研究.

超深層縦坑500メートルレベルの水平坑道床面から掘削されたボアホールに設置された応力計は同一方向で等価剛性が異なる二つの水平応力センサが含まれている. このセンサによる観測結果にもとづき, 応力計設置後, 時間経過にともないモルタルの弾性率が増加したこと, 遅くとも2~3ヶ月後には 9 GPaに達し, ほぼ一定となったことがわかった. また, 周辺の土岐花崗岩のヤング率として 60 GPa がえられた. この結果は室内試験結果より大きめであるが, 深さ 0.5 kmで作用している上載荷重の影響を考慮すれば妥当な値と思われる.

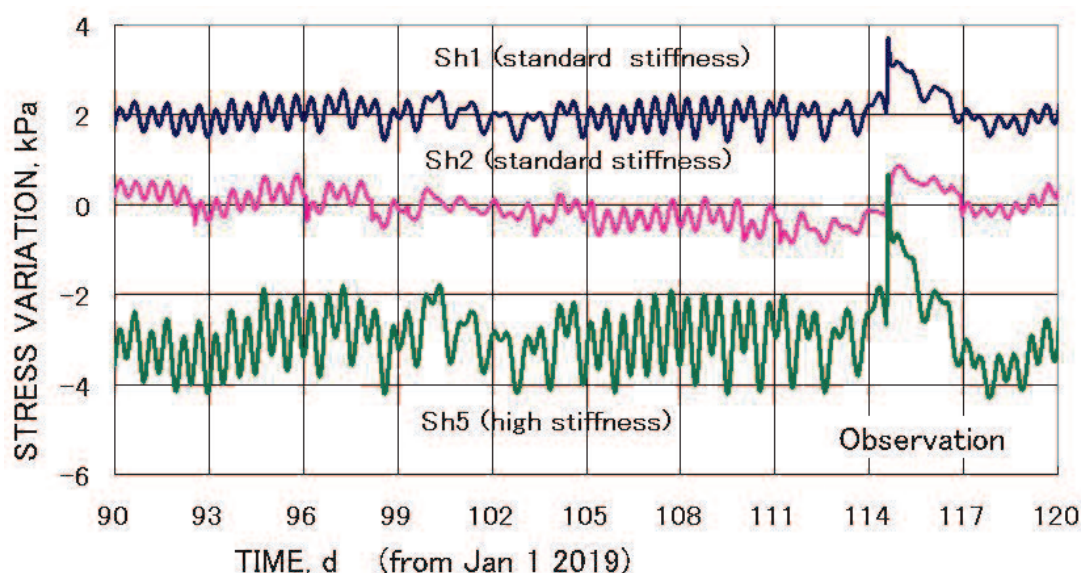


図1. 水平面内, 等価剛性が異なる二つのセンサによる同一方向の観測結果. 図中, Sh1とSh5が同じ方向を向いており, Sh5の剛性はSh1の剛性より数倍高い. この違いは周辺のモルタルや岩盤との弾性応答の結果として生じたものであり, 応答特性の違いから弾性率を評価することができる.

2.2.3 ボアホール応力計による観測結果にもとづく応力場の評価

陶史の森には応力計による記録だけでなく、ボアホール水位も記録されている。一般に、ボアホール水位が変化するためには岩盤内部とボアホールとの間に水の移動が必要であるが、TOSの水位記録には明確な地震波応答や潮汐応答を見出すことはできない。したがって周辺岩盤とボアホール間の水の移動がほとんどないか、あるいは水が存在しない状態か、いずれかである。これまで水圧変化が認められているSBSやSTG等の記録と比較することにより、岩盤内部に水圧変化が存在すると仮定して解析を進めてきた。一般論として、異なる二方向の成分の和と差を全応力と観測結果とで比較することにより、水圧変化の有無を検証することができる。水圧変化が存在する場合、異なる二方向の有効応力の和には水圧変化が含まれるが、有効応力の差は水圧変化がキャンセルされるからである。TOSの記録と川崎[2014]による理論地震波形を比較することにより、TOSでも岩盤内部で水圧変化が生じていることがわかった。

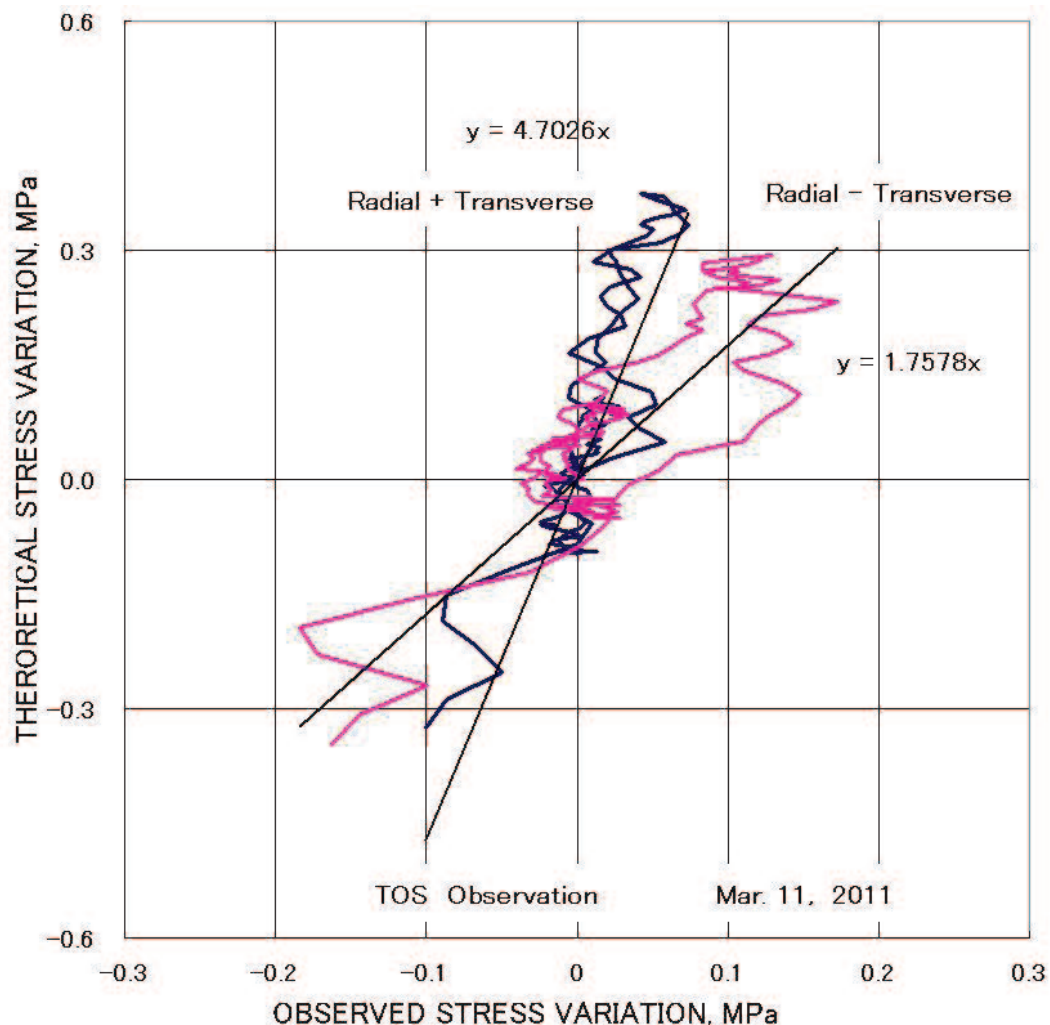


図2. 2011年3月11日に観測されたTOSの応力計記録をもとに地震波のラディアル方向とトランスバース方向の和と差を川崎[2014]による理論地震波形と比較した。和と差には明瞭な差が認められる。これは岩盤内に水圧変化が生じている証拠である。