

石井式歪計・応力計で記録される地震動と地震規模の関係

(1) 屏風山・東濃研究所(歪)観測点の結果

笠原 稔 (東濃地震科学研究所)

1. はじめに

東濃地震科学研究所では 2003 年 3 月 30 日、多成分歪計の屏風山観測点への設置以降、現在まで、多成分歪計、多成分応力計の設置されたボアホール観測点 6 ヶ所から成る歪計応力計十字アレイが稼働している。これらで観測されている高速サンプリングによる地震動記録利用の端緒として、観測されている地震動記録の収録を、28 年度から行ってきた(笠原・他、2017)。ここでは、その解析の 1 つとして、2016 年末までに記録された、屏風山観測点(BYB)と東濃研究所観測点(TRIES)の多(4)成分歪計により記録された歪地震動を、弾性論の不変量のひとつである直交 2 成分の和、すなわち面積歪の最大振幅に注目して、震源距離と地震の規模(ここでは、 M_{JMA})の関係を整理した結果を報告する。

2. データ

図1に、東濃地震科学研究所の 6 点の歪計・応力計観測点の配置を示す。このうち、BYB, TRIES が歪計観測点である。他の 4 点は、応力計観測点である。それぞれの観測点での観測開始から、



図1 東濃地震科学研究所の歪計・応力計観測点分布図

2016 年末までに収録された地震総数は、 $M_{2.5}$ から $M_{9.0}$ まで、震源距離 25km から 18,932km の範囲で、BYB では、362 個であり、TRIES では、288 個である。

ここで、最大振幅としては、各成分毎に見た場合には、震源との相対的位置関係により大きな差が生じることがあるので、直交 2 成分の和から求められる弾性体歪の不変量のひとつである“面積歪”を用いることにした。最大振幅は、収録した時間内の最大・最小振幅を自動的に読み取り、その差を用いた。

各観測点には、直交 2 成分と、それから 45° 異なる方向のもうひとつの直交 2 成分が設置されている。そのため、1 観測点で、異なる歪計の組み合わせで、不変量を求めることができる。これらは、当然一致するべきもので

ある。そこで、1つの地震例について、BYBとTRIESを比較してみた結果を図2に示す。

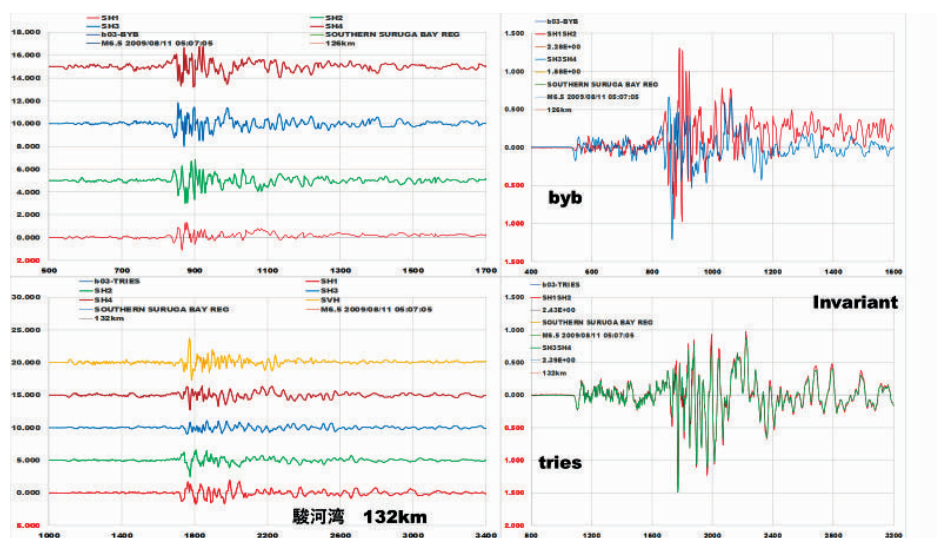


図2 歪地震動の一例(駿河湾深さ132kmで発生したM6.5). 上段左;BYB4成分の記録、上段右;異なる直交2成分の和、面積歪波形、を重ねて示している。下段左右;TRIESの記録。

TRIESの両者の一致は非常に良い(図2、右下)が、BYBの一致はあまりよくない(図2、右上)ことが分かる。TRIESとBYBの面積歪波形を個々に比べてみたものが、図3である。ケース1の比較では、BYBのSH1+SH2とTRIESのそれの一致は悪いけれども、ケース2の比較では、BYBとTRIES

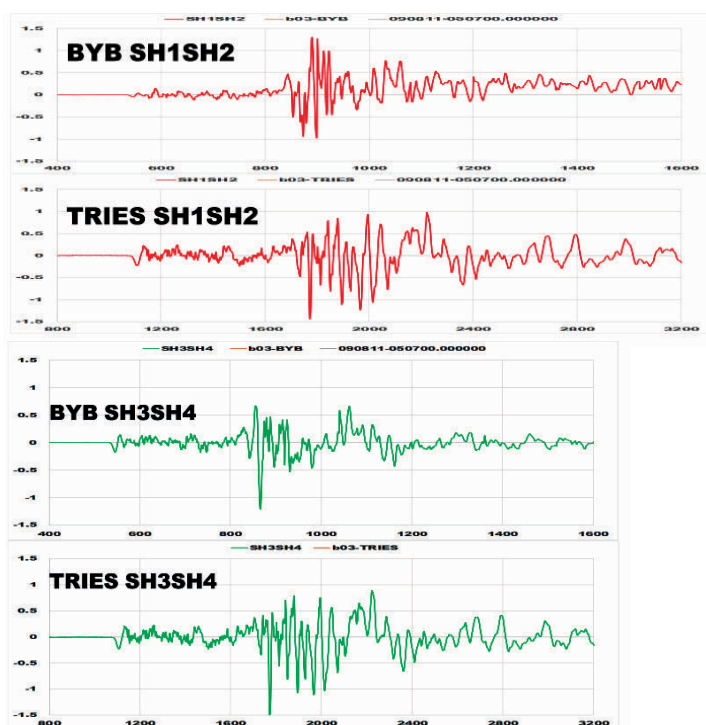


図3 直交2成分の和、面積歪波形のBYBとTRIESの比較。

ケース1(上段)とケース2(下段)。地震は図2と同じ。

の波形は良く似ている。TRIESの場合は、どちらのケースでも波形の一致はいいことから、TRIESの波形に似ていないBYBのどちらかの成分(SH1かSH2)に何らかの問題があると考えられる。BYB観測点は、多成分貸した最初の観測点で、その後の観測点では、TRIESのように、一致度は良いことは確かめられている(石井・浅井、2017)。BYB観測点の問題として、今後系統的に調べる予定であるが、観測される地震動の大きさという観点からは、大きな問題にならないことは、次節で見るとおりである。

3. 歪地震動の最大振幅と地震規模の関係

観測された歪地震動記録から、自動的に、最大値、最小値を読み取り、その差を最大振幅として整理している。ただし、整理された結果から異常値とみなされるものについては、再検測した。遠地地震の場合には、記録時間内の潮汐変化を考慮した。2観測点について、記録された最大振幅と震源距離の関係を、地震の規模(ここでは、 M_{JMA})で区分してプロットした結果が図4である。

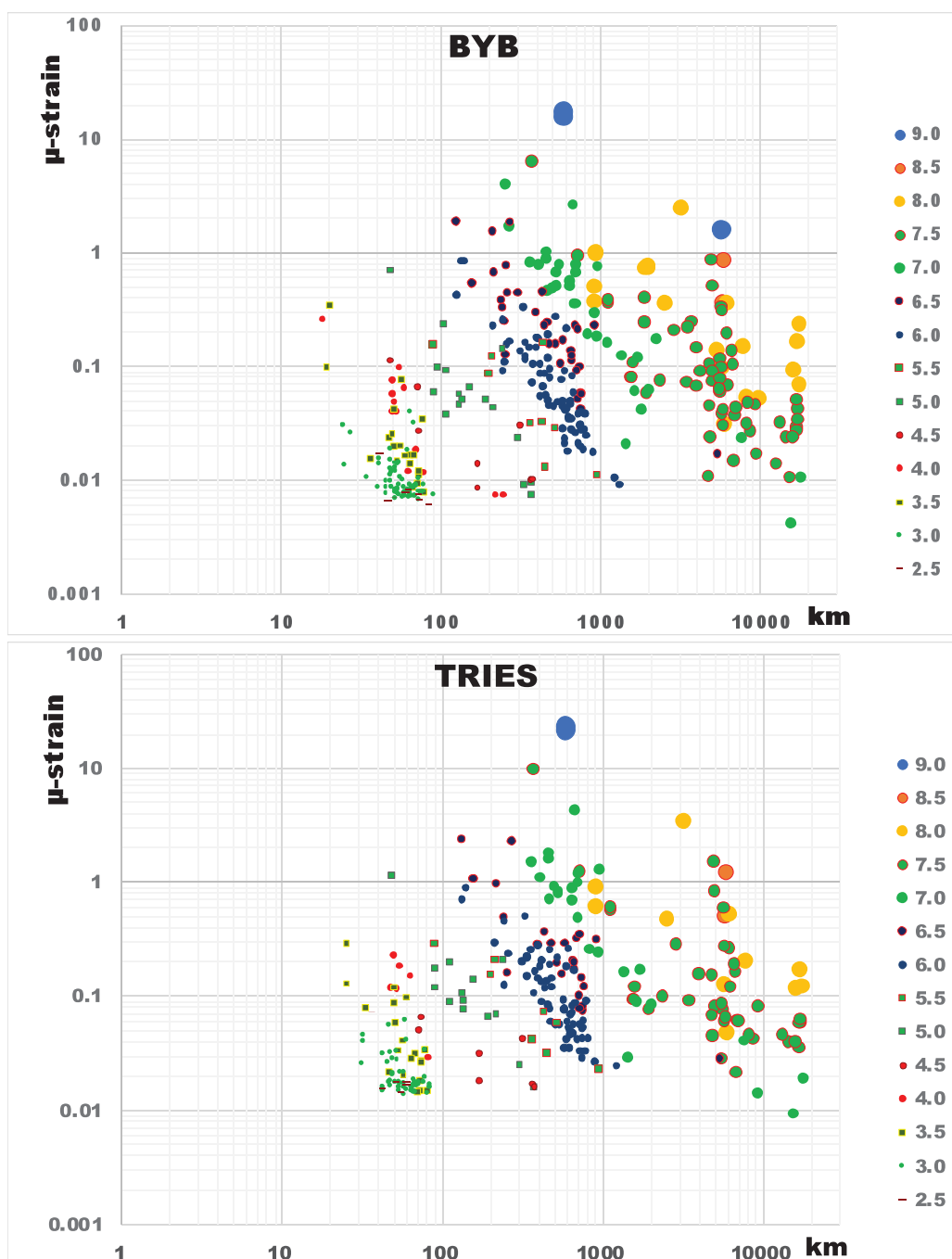


図4 M 別で示す BYB、TRIES 観測点で記録された歪地震動の最大振幅(縦軸)と震源距離(横軸)の関係

ここでの最大振幅は、各観測点で求められた直交 2 成分の和から求められた不変量、面積歪波形、から求めている。前節で見たように、BYB 観測点では、SH3+SH4、を採用している。TRIES は、どちらでも変わらないが、ここでは、SH3+SH4、を採用している。

同一の M に注目すれば、震源距離 1,000km 以内では、観測される最大振幅は、距離の 2 乗に反比例し、同じ距離に注目すれば、最大振幅の対数が、M に比例しているようにみえる。震源距離 1,000km 以上では、距離の 1 乗に反比例し、振幅については同様である。この差は、最大振幅を示す波動が、前者は実体波であり、後者は表面波であることを示唆しているし、記録を見る限り、そう考えるのが自然である。前者では、S 波到着からすぐに最大振幅を示しているし、後者の場合は、明らかに S 波以後の表面波での振幅が最大振幅となっている。もちろん、震源距離 500~1000km で、浅い地震の場合には、最大振幅が実体波的であるか、表面波的であるか、ややあいまいである。BYB 観測点の結果について、地震規模 (M) と観測される最大歪振幅 (ϵ ; μ -strain) と震源距離 (R; km) の関係式を求め、それによる M の区分線を重ねて示したものが、図5である。

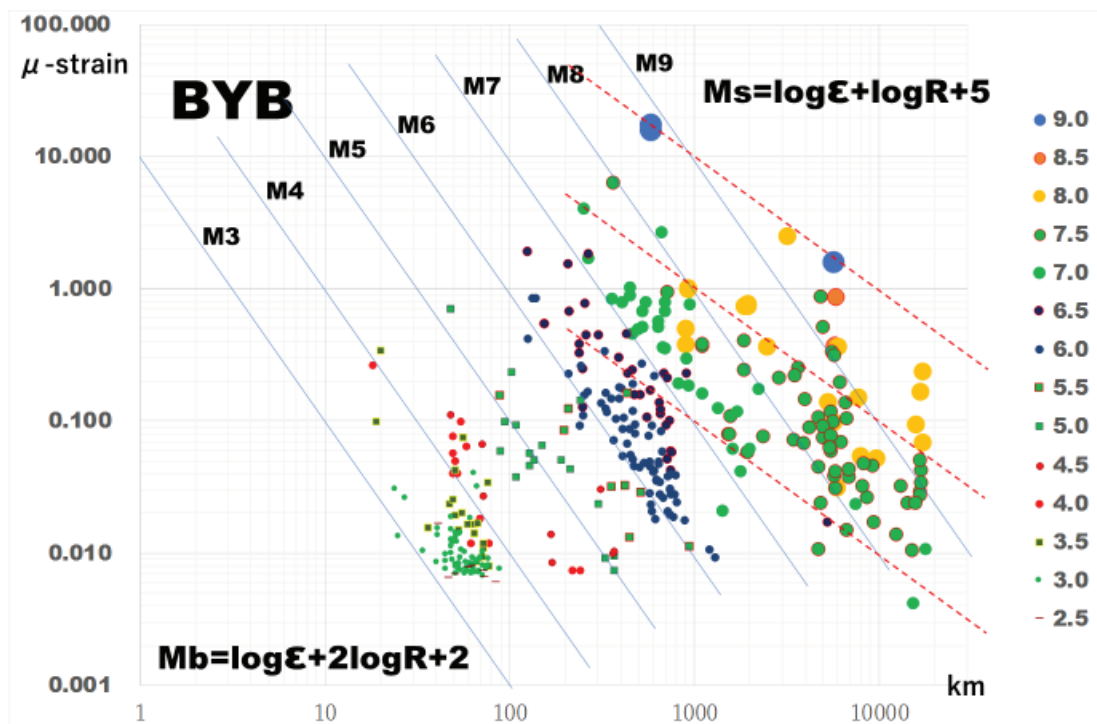


図5 2003年から2016年までにBYB観測点で観測された362個の地震による震源距離と歪地震動最大振幅のM別の関係

M3以下の地震は、ここでは明瞭に区分されないが、これは、検知限界に近い小さな振幅のため、ノイズの影響や震源と観測点の相対的位置関係の影響があるためかもしれない。今後の精査を検討したい。M3以上では、非常に明瞭に区分されていることが見て取れる。青線が、最大振幅が実体波としてみた場合の関係式、 $M_b = \log \epsilon + 2 \log R + 2$ 、である。赤点線が、最大振幅が表面波としてみた場合の関係式、 $M_s = \log \epsilon + \log R + 5$ 、である。

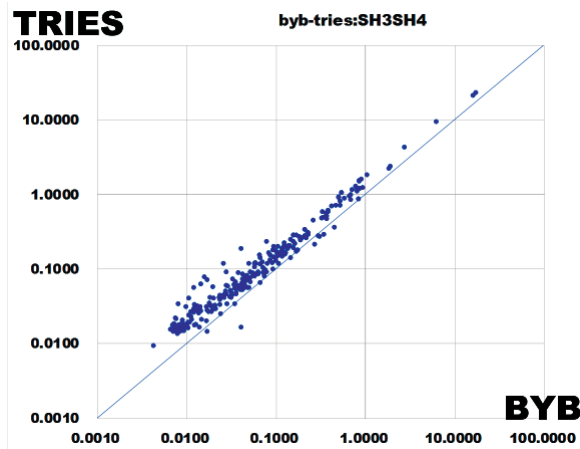


図6 不変量の最大振幅の TRIES と BYB の対比

図4で見ると、TRIES でも、同一の M に注目すれば、震源距離 1,000km 以内では、観測される最大振幅は、距離の2乗に反比例し、同じ距離に注目すれば、最大振幅の対数が、M に比例しているように見える。震源距離 1,000km以上では、距離の1乗に反比例し、振幅については同様である。しかし、全体に BYB よりは、上方へシフトしている、すなわち、同一地震での最大振幅は、TRIESの方がBYBより大きいようである。この点を確認するために、BYB と TRIES 観測点の、同一地震についての不変量(SH3+SH4)の対比を図6に示す。明らかに、TRIES の振

幅は BYB より大きく、その差は、広い範囲で一定であり、約 1.5 倍である。この補正(-0.2)を BYB でえられた式に代入する。その結果による M 毎の区分線を入れたものが、図7であり、BYB 同様、非常に明瞭に分けられている。

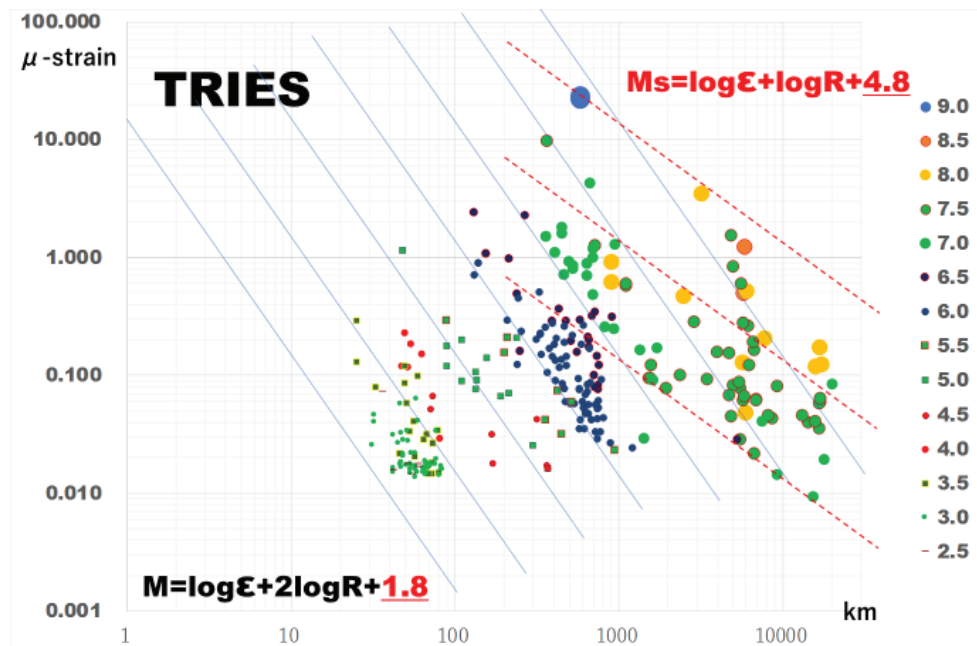


図7 2007年から2016年までに TRIES 観測点で観測された288個の地震による震源距離と至地震動最大振幅のM別の関係

両観測点について、観測された至地震動の最大振幅と震源距離から、地震の規模、M、を求める関係式が決まったので、これにより決まるMと気象庁MJMAとの比較を行った。図8左にBYB、図9にTRIES、の結果を示す。それぞれ、震源距離1000km以内には、実体波の式を、1000km以上

には、表面波の式を使い、オレンジと青の丸印で示している。青線は、1:1の関係、赤点線は、 ± 0.5 の範囲を示してある。多くは良く一致しているが、歪地震動から大きめに決まる一群があるが、

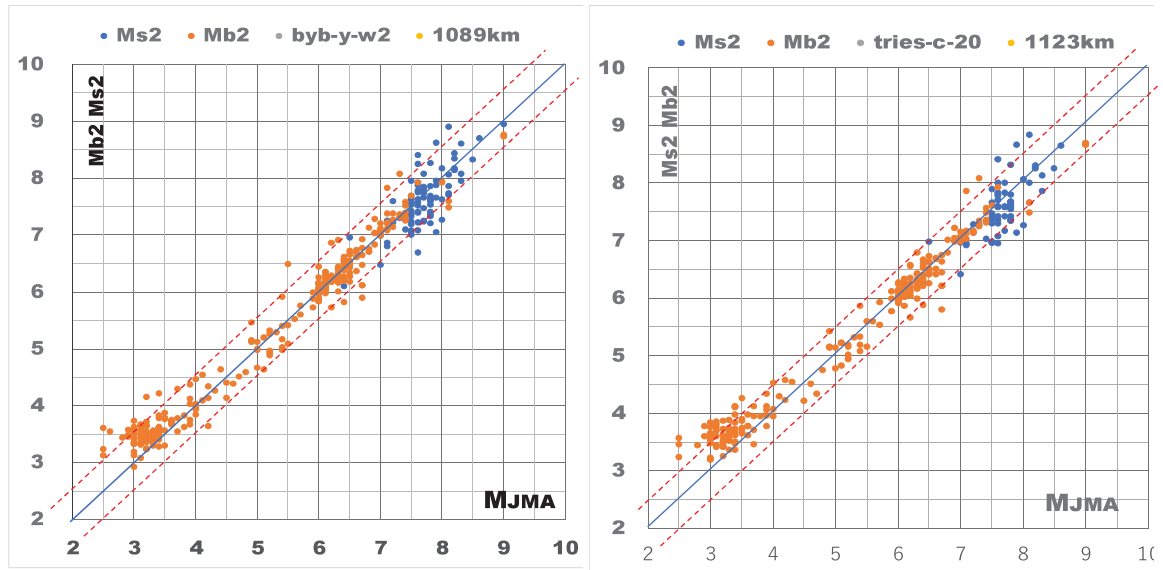


図8 歪最大振幅から決めた M と気象庁 M との関係、左図 BYB、右図 TRIES

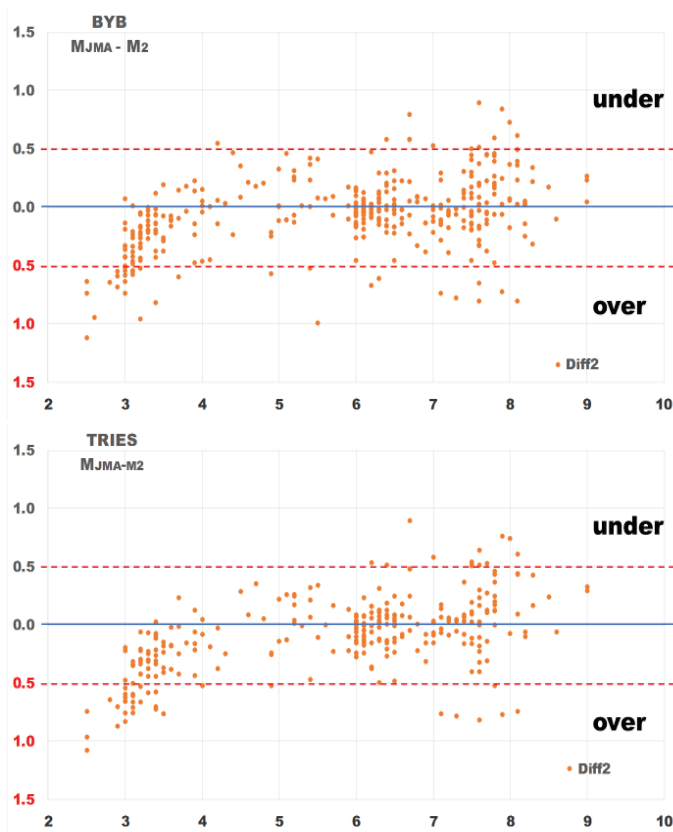


図9 歪最大振幅から決めた M と気象庁 M との差の分布、
上図 BYB、下図 TRIES

これらについては、精査する必要がある。

さらに、両者の差の分布を M に対して見たものが、図9である。小さな地震に対しては、歪地震動から決める M が大きめになる傾向が明瞭に出ているが、検知限界に近く、収録される地震は、それを超えるものだけであることから来るのかもしれない。しかしながら、歪地震動の最大振幅という簡単な指標で、小さな地震から大きな地震まで、その規模を即座に推定できることは、明らかである。歪計の計測上限は 10^{-4} を越すまであり、至近距離での M \sim 8超の大地震でも、飽和することなく記録できることを意味する。

4. 結論

東濃地震科学研究所で展開している歪計・応力計の十字アレイの中の、屏風山(BYB)観測点と研究所(TRIES)観測点の歪地震動の最大振幅(歪不変量、ここでは面積歪), ϵ (μ -strain)、と地震規模、M、と震源距離、R(km)の関係をしらべた。震源距離 1,000km 以内では、実体波を観測していると見做せて、BYB に対しては、 $M = \log \epsilon + 2\log R + 2$ という関係式が得られた。また、1,000km 以上では、表面波が最大振幅を記録するために、この関係は、 $M = \log \epsilon + \log R + 5$ となる。TRIESでも、同様の関係であり、BYBより50%振幅が大きく観測されているために、定数項が、それぞれ、1.8、4.8 となる。同じ震源距離で見れば、歪地震動の最大振幅の対数が M に比例することから、歪地震動記録から、即座に地震規模を推定できることを示している。

最後に、歪計の計測範囲は十分に広く、至近距離での大地震に対しても飽和することなく、地震規模が推定できることを意味しており、津波予測に対しては非常に有用なことを強調しておきたい。

参考文献

石井紘・浅井康広、2017. ボアホール歪・応力観測景気により観測された弾性体力学の不変量と計器の信頼性、地震 2、第 69 巻、49-58

笠原稔・石井紘・浅井康広、2017. 東濃地震科学研究所の歪計・応力計十字アレイで観測された地震動記録の収録-その 1 東濃地震科学研究所_歪応力地震動記録DBの構造、東濃地震科学研究所報告、Seq. No. 38、5-22

