

## 応力計の観測レンジについて —STS 地震計との比較—

東濃地震科学研究所 石井 紘、古本宗充、浅井康広

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震 (M9.0) においては日本中の STS 地震計はほとんどすべてスケールアウトとなり最大振幅は記録することができなかった。しかしながら当研究所の複数の応力計・歪計は最大振幅も含めて全て良好に波形を記録することができた (図1)。

複数の観測点で観測された3.11地震の波形

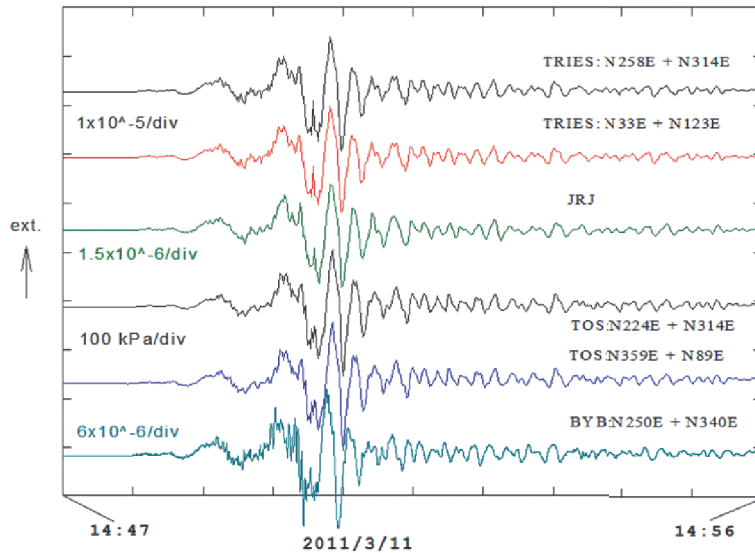


図1：東濃地震科学研究所の応力計・歪計で観測された3.11地震

図1は(石井・浅井, 2017)から引用したものであるが応力や歪の弾性体力学における不変量であり、異なる観測点の異なるデータから得られた不変量が同じ変動を記録していることから観測の信頼性を示している。このように東北地方太平洋沖地震の記録が当研究所の応力計や歪計においてはスケールアウトすることなく記録できている。海で発生した大きな地震の場合には長周期成分の記録がスケールアウトせずに記録できることが大きな津波発生を判断するうえで重要である。そこで当研究所で観測した STS 地震計と応力計・歪計の観測レンジを比較検討するとともに応力計・歪計はどこまで大きな変動も記録できるのか検討した。当研究所で開発した応力計は応力と歪の両方を連続して記録することができる。

震央距離は約 600km である。

この図は(石井・浅井, 2017)から引用したものであるが応力や歪の弾性体力学における不変量であり、異なる観測点の異なるデータから得られた不変量が同じ変動を記録していることから観測の信頼性を示している。このように東北地方太平洋沖地震の記録が当研究所の応力計や歪計においてはスケールアウトすることなく記録できている。海で発生した大きな地震の場合には長周期成分の記録がスケールアウトせずに記録でき

スケールアウトせずに記録でき

鉛直応力計とSTS地震計の波形

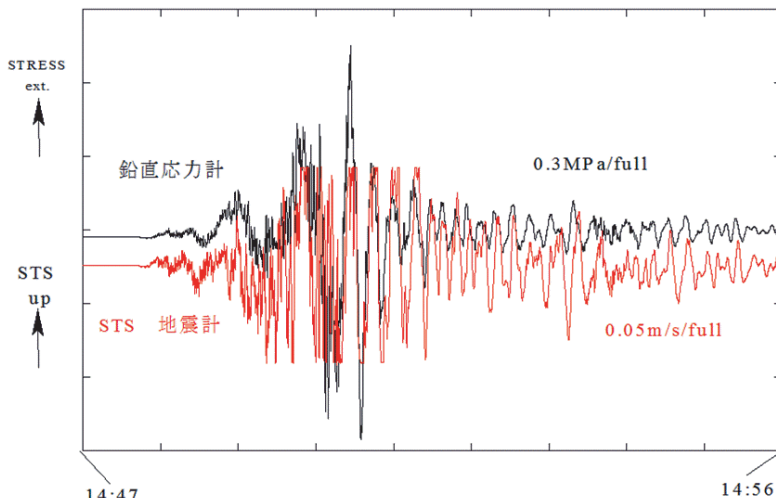


図2：2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の鉛直成分 (黒色) と TOS 観測点 (深度 512m) で観測された応力計の鉛直成分 (黒色)

図2は東濃地震科学研究所の TGR で観測した STS 地震計の上下変動と TOS 観測点 (深度 512m) の応力計の鉛直成分を並べた記録である。観測している物理量は異なるが波形の位相はかなり対応している。STS 地震計の場合は初動の約 120 秒後頃からスケールアウトになり、大きな揺れの振幅が分からない。応力計の場合は最大振幅 (約 270kPa) も含めてすべての波形を記録している。測定している物理量は異なるが波の位相がかなり対応しているのがわかる。観測可能なレンジを見積もるために初動が到達する直前の

観測可能なレンジを見積もるために初動が到達する直前の

応力計とSTS地震計のノイズ部分

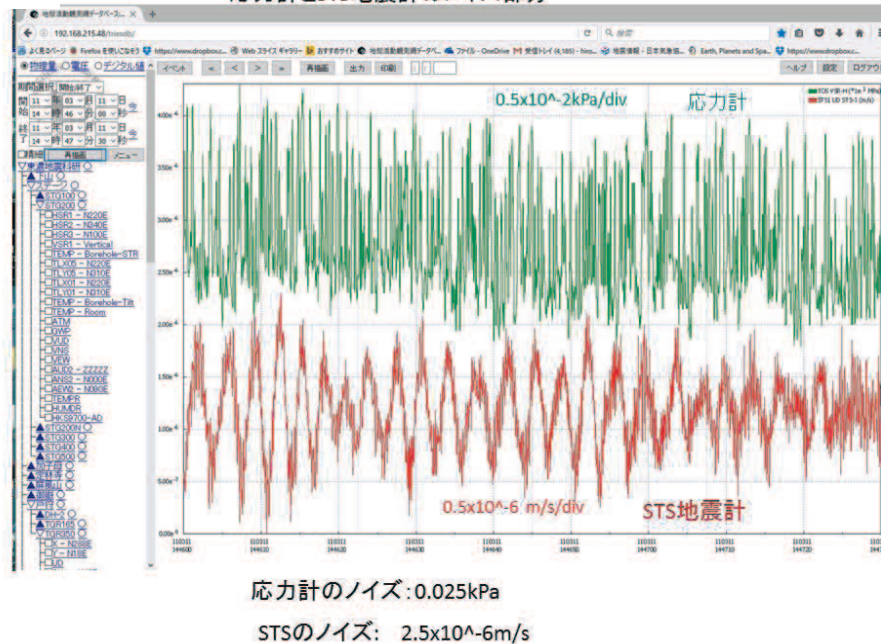


図 3: 初動到達直前の応力計 (緑) と STS 地震計 (赤) のノイズ

Stress (MPa) = -A*volt + B						
	HSR1	HSR2	HSR3	HSR4	VSRH	VSRL
A	0.575	0.447	0.512	0.514	0.253	4.06
B	12.9	12.9	12.7	12.9	12.9	3.51

表: TOS 観測点 (深度 512m) のボアホール応力計の応力と出力電圧の関係 (Ishii & Asai, 2015 より)、HSR1~HSR4 は水平成分、VSRH は高感度の鉛直成分、VSRL は低感度の鉛直成分。

関係が記載されており、図 3 に掲載している。AD 変換はプラスマイナス 4V の範囲で有効であるのでこの関係から高感度鉛直成分の場合は約 2MPa の範囲の観測がスケールアウトすることなく可能である。従って今回より 7 倍程度大きな応力地震波でもスケールアウトすることなく観測可能である。水平成分の場合は約 4MPa 程度までの応力変化がスケールアウトせずに観測可能である。ボアホール地殻活動総合観測装置には低感度の鉛直応力計も搭載されているが、この場合は約 30MPa までの応力が観測可能である。

応力計は応力ばかりでなく歪の観測も可能である。前述の論文から求めると鉛直高感度歪計の場合は  $2.7 \times 10^{-4}$  の歪までスケールアウトすることなく観測可能であり、当研究所の応力計や歪計は全て東北地方太平洋沖地震の最大振幅を記録している。調べた結果、以下のことが明らかになった

1. 応力計は高感度成分においても STS 地震計よりも 10 倍以上の観測可能レンジを有している
2. 3.11 地震の応力鉛直成分の最大振幅は約 300kPa であったが高感度の応力計でも 2~5 MPa の応力変動を記録することができる。
3. 応力計は応力のみならず歪も観測できているが歪計の観測可能レンジは高感度成分においても破壊限界に近い  $2 \times 10^{-4}$  の観測可能なレンジを有している

グラウンドノイズを拡大したのが図 3 である。図は初動到達前の応力計と STS 地震計のノイズである。応力計のノイズは約 0.025kPa であり、STS は  $2.5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$  である。STS 地震計のスケールアウトした振幅は  $1.6 \times 10^{-2} \text{ m/s}$  であるから(スケールアウトの振幅) / (STS のノイズ) は  $6.4 \times 10^3$

となり、76.1dB となる。ここに示した応力計は高感度成分であるが、(最大の振幅) / (応力計のノイズ) は  $1.2 \times 10^4$  となり、81.6dB となる。従って応力計の方がノイズに対して大きな信号まで観測可能である。応力計に関しては Ishii & Asai (2015) で説明している。この論文に応力計の出力電圧と応力の

4. 以上の結果から応力計は巨大地震においても振幅がスケールアウトすることなく記録可能である。従って津波地震の判定やマグニチュードの決定に信頼できる計器であることが明らかになった。

#### 参考文献

石井紘・浅井康広、ボアホール歪・応力観測計器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 (2017) 49-58頁、DOI: 10.4294/zisin.69.49.

Ishii, H. and Y. Asai, Characteristics of the stress and barometric seismograms produced by the 2011 Tohoku Earthquake (M9.0) and vertical movements derived from barometric seismograms, Earth, Planets and Space (2016) 68:61 DOI 10.1186/s40623-016-0434-0.

Ishii, H. and Y. Asai, 2015, Development of a borehole stress meter for studying earthquake predictions and rock mechanics, and stress seismograms of the 2011 Tohoku earthquake (M9.0), Earth, Planets and Space, (2015) 67:26, doi:10.1186/s40623-015-0197-z