

既存未使用井戸を用いた安価な歪観測のための技術開発

Development of low cost strain observation technologies using existing unused wells

板場智史(産業技術総合研究所)

Satoshi Itaba (Geological Survey of Japan, AIST)

1. はじめに

南海トラフ沿いで発生する短期的SSEのモニタリングには、ボアホール傾斜計(防災科研Hi-net高感度加速度計)やGNSSの他、ボアホール歪計(以下、BSM)が用いられている。ボアホール歪計は観測点の密度が低いものの、高感度であるため、中～小規模の短期的SSEの検出に大きな役割を果たしている。産総研では、BSMの観測密度を上げるべく、2018～2019年度にかけて既存未使用井戸を用いた安価かつ高感度な歪観測のための技術開発を行ったので、ここでその概要を紹介する。

2. BSMの活用例

産総研では、2006年度以降東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測施設整備を進めており、現在までに愛知県・紀伊半島・四国地方において16点の整備を完了している。これらの観測施設では、深度の異なる3本の井戸を掘削し、地下水位・水温を観測しているほか、全点でBSM(水平4成分に加えて多くの点で別途鉛直1成分を含む)、傾斜計、地震計、一部ではGNSSが設置されており、プレート境界で発生する短期的SSEや深部低周波微動のモニタリングを行っている。

短期的SSEのモニタリングには、上述の観測網のうち、2007年以降に観測を開始した16点および愛知県内の1点を加えた17地点のうち、石井式歪計(Ishii *et al.*, 2002)が設置されている13地点の歪データ、およびHi-netと同タイプの傾斜計(高感度加速度計)が設置されている8地点の傾斜データ、井戸を密閉している地点の間隙水圧データに加えて、2011年からは防災科研のHi-net高感度加速度計(傾斜)データを、2013年からは気象庁の多成分歪・体積歪計データを合わせて使用している。高感度な歪データと、観測点の密度が高い傾斜データを組み合わせることによって、四国～紀伊半島の広い範囲で、Mw5.7程度以上、歪観測点の密度が高い東海地方では、Mw5.0程度以上の短期的SSEを検出することが可能である。2008年から東海・紀伊半島・四国地方における短期的SSEのモニタリングを開始し(Itaba *et al.*, 2010)、例えば2012年度～2014年度の3年間では、91イベントの断層モデルを推定している。近年では、紀伊半島沖の浅部におけるSSEの検出にも成功している(板場, 2018)。また、大地震時にBSMで観測される静的ひずみ変化を用いて、地震規模(Mw)の即時把握手法が開発される(Itaba, 2018)など、BSMの活用が進んでいる。

3. BSMの問題点

短期的SSEのモニタリングにおいては、広範囲での検出が可能となったが、その検知能力の空間的なばらつきは大きい。四国中部では短期的SSEの検出例は非常に少なく、四国東部では全く検出することができていない。短期的SSEによる累積すべり量、すべり欠損速度、プレート収束速度の関係から、四国西部、奈良

県南部～三重県中部，愛知県においては，短期的SSEによるすべり速度と，すべり欠損速度・プレート収束速度の和がほぼ等しく，これらの領域で発生する非定常的なすべりをほぼ全て検出することが出来ていると考えられる．一方，四国中部～東部，和歌山県西部，伊勢湾においては，短期的SSEによるすべり速度と，すべり欠損速度・プレート収束速度の和との間には2～4cm/year程度のギャップがあり，短期的SSEの見落としがある可能性がある．検知能力のばらつきの大きな要因が，歪観測点の空間密度の低さおよび偏りである．四国東部をカバー可能な歪観測点は4地点（うち，解析に使用している石井式歪計は2地点）のみ，和歌山県中部をカバー可能な歪観測点は2地点のみしか存在せず，また，それぞれの領域の直上には観測点は存在しない．

これらの状況を解消するには歪観測網の拡充が必要であるが，2012年度の2地点新設を最後に，新規歪観測点の整備は滞っているのが現状である．整備停滞の一つの要因が，歪観測施設整備にかかる高コストと長工期であると考えられる．

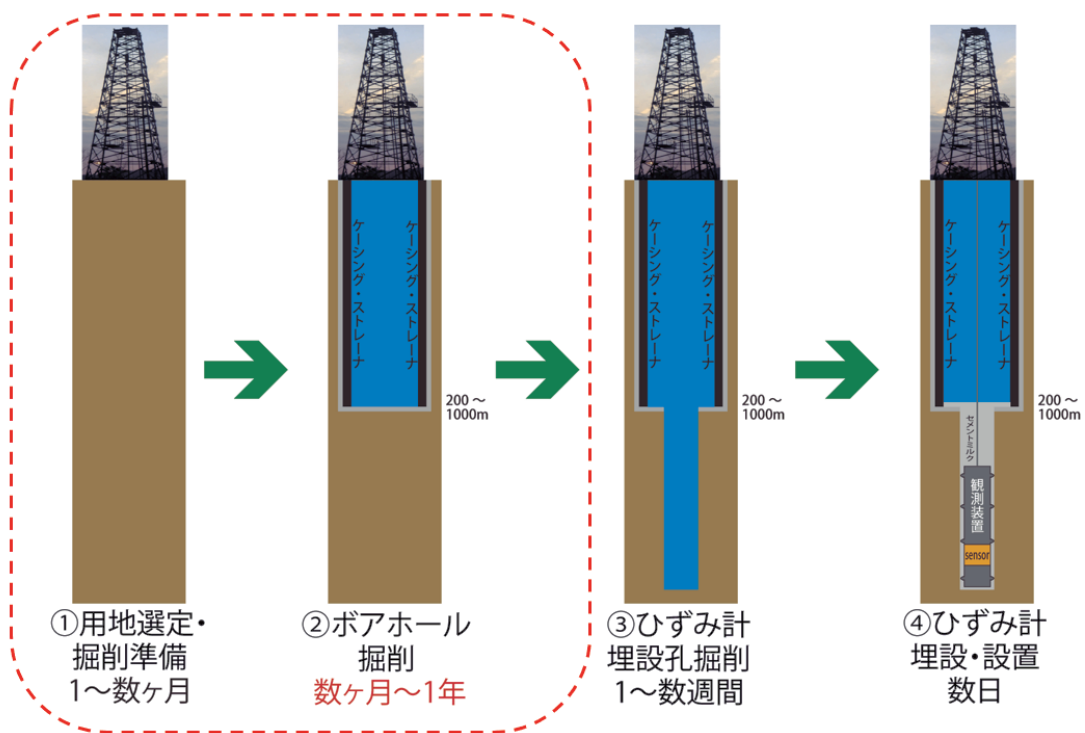
4. 既存未使用井戸を用いた安価な歪観測

これらの問題を解決するために，既存の未使用井戸の活用を試みることにした．既存の未使用井戸とは，例えば，温泉汲み上げのために井戸を掘削したが，諸事情により汲み上げを停止する等した井戸である．高精度な歪観測を行うためには，200～1000m程度のボアホールを掘削する必要があるが，長大なボアホール歪計を安全に孔底部まで降下させるためには，孔径が大きく，かつ孔曲がりの小さいボアホールを掘削する必要がある．そのため，掘削には多くのコストと長い工期が必要である．

一方で，既存井戸を用いることができれば，ボアホール掘削にかかるコストと工期を縮減することができる（図1）．しかし，温泉井戸などの既存井戸は，BSMを埋設するためのボアホールと比較して，孔径が小さく，孔曲がりが大きいことが多いと考えられる．つまり，小口径・短小なボアホール歪計を開発することができれば，既存井戸へも歪計の設置が可能となると考えられる（図2）．

このような考えのもと，2018年度に小口径・短小な小型BSMの開発・製作を行った．小口径・短小化以外にも，BSM製作にかかるコスト削減のため，従来型（地震計や傾斜計等も内蔵したデジタル式地殻活動総合観測装置）からセンサーや冗長系の絞り込みを行ったほか，地上の観測小屋建設を不要にするため，地上装置の簡略化・小型化を行い，受電柱に取り付け可能な筐体内に納めることができるようになった．

開発した小型BSMを埋設するための既存未使用井戸として，香川県三豊市内の深さ約215mの井戸を選定した．同井戸の孔径（内径）は125mmと従来の歪計埋設用の井戸より細く，従来型BSMを埋設することが出来ない．また，孔曲がり測定を行ったところ従来型BSM埋設を安全に行うための基準値を超過していた．このような井戸でも，開発した小型BSMであれば，埋設孔の掘削および埋設は可能と判断し，2020年1月に小型BSM埋設のための埋設孔掘削および埋設作業を行い，無事成功した．本稿執筆時点で埋設後1ヶ月ほど経過しているが，既に潮汐変動が観測されるなど，順調に稼働している（図5）．



既存井戸を活用すると不要：工期1年以上 → 1ヶ月以内

図1: BSM埋設までの流れ. 既存井戸を活用すると, ①および②が不要となるため, 工期の大幅短縮が可能である.

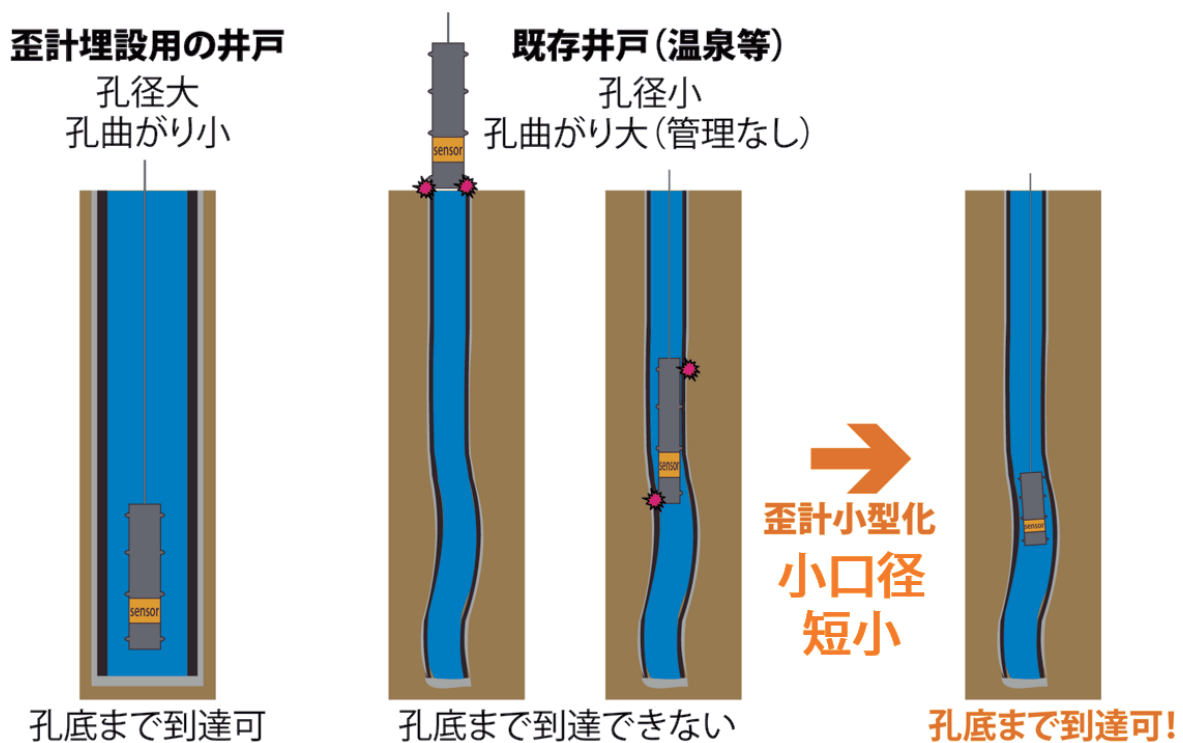


図2: 歪計埋設用井戸および既存井戸孔底部へのBSM降下の様子. 歪計埋設のために掘削した井戸と異なり, 既存井戸では小口径・孔曲がり大等により, BSMを孔底まで降下させることが困難であることが多いと考えられる.

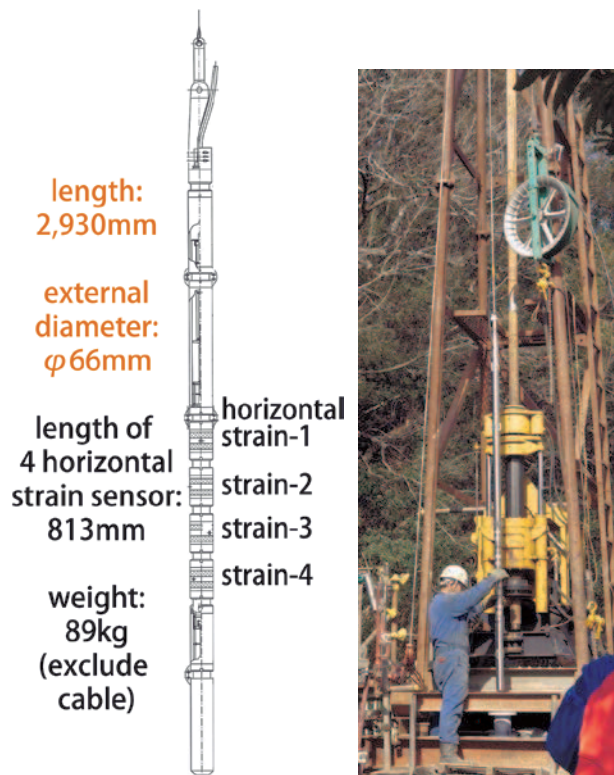


図3: 小型 BSM の模式図(左)および埋設時の写真(右).



図4: 小型 BSM 観測施設全体写真. フェンス内左側が井戸, 右側の白い筐体内に地上装置が納められている.

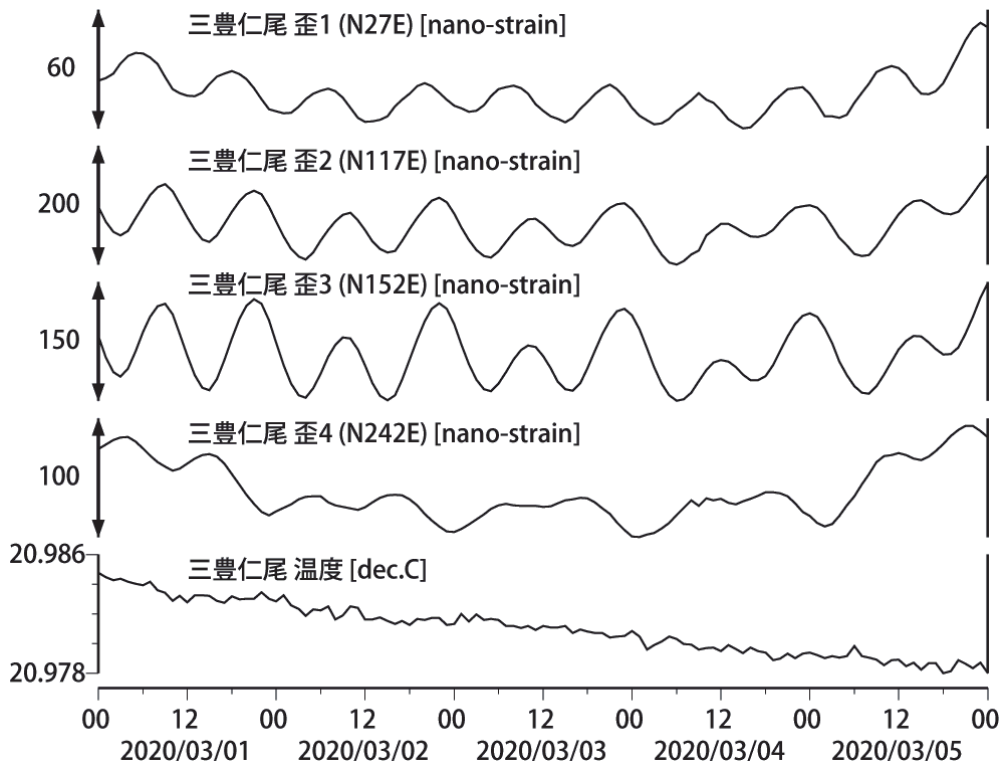


図5: 小型BSMで観測された歪変化および温度変化. 歪は1次トレンド成分を除去している. 潮汐による歪変化が観測されていることが分かる.

5. 今後に向けて

これら一連の技術が確立できると、既存の未使用井戸を活用して安価かつ迅速に歪観測網の展開が可能となるほか、例えば火山のモニタリングのために機動的な観測が可能となると考えられる。また、新規にボアホールを掘削する場合であっても、小型ボアホール歪計であれば、小口径かつ孔曲がりの大きなボアホールでも設置可能であるため、掘削にかかるコストと工期を大幅に縮減することができる。これらの技術開発は、歪観測網の高密度化、ひいては南海トラフ沿いで発生するSSEモニタリングの高精度化に大きく貢献するものと期待される。

謝辞: 未使用既存井戸への小型ボアホール歪計の埋設および観測にあたり、井戸所有・管理者の三豊市に多くのお力添えをいただきました。記して感謝いたします。

引用文献

- Ishii H, Yamaguchi T, Matsumoto S, Hirata Y, Nakao S (2002) Development of multi-component borehole instrument for earthquake prediction study: Some observed examples of precursory and co-seismic phenomena relating to earthquake swarms and application of the instrument for rock mechanics. In: Ogasawara H, Yanagidani T, Ando M (eds) Seismogenic process monitoring. A.A. Balkema Publishers, Avereest, pp 365-377
- Itaba S, Koizumi N, Matsumoto N, Ohtani R (2010) Continuous observation of groundwater and crustal deformation for forecasting Tonankai and Nankai earthquakes in Japan. *Pure Appl Geophys* 167:1105-1114. <https://doi.org/10.1007/s00024-010-0095-z>
- Itaba S (2018) Rapid estimation of the moment magnitude of the 2011 Tohoku-Oki earthquake (Mw 9.0) from static strain changes. *Earth, Planets and Space* 70:124. <https://doi.org/10.1186/s40623-018-0894-5>
- 板場智史 (2018) 陸上のボアホール歪観測により検出した紀伊半島沖浅部SSE. 東濃地震科学研究所報告 Seq. No.40:5-8