

# 東南海・南海地震予測のための地下水等 観測点整備に伴う地殻応力測定(速報)

佐藤 隆司<sup>1)</sup>・北川 有一<sup>1)</sup>・木口 努<sup>1)</sup>・塚本 齊<sup>2)</sup>・重松 紀生<sup>1)</sup>・板場 智史<sup>1)</sup>  
佐藤 努<sup>2)</sup>・関 陽児<sup>3)</sup>・梅田 康弘<sup>1)</sup>・加藤 春實<sup>4)</sup>・小泉 尚嗣<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

産業技術総合研究所では、2006年度から、東南海・南海地震の発生予測精度向上のため、南海トラフ周辺の愛知県、紀伊半島および四国地域における地下水等総合観測施設の整備を開始し、これまでに12点の観測点を完成させました。それぞれの観測点には深さの異なる3つの井戸(標準的深さ600m, 200mおよび30m)が掘削されました。掘削後には水位計、歪計、地震計等が設置され、観測を続けています。観測網の概要については本特集号の小泉ほか(2009)の報告を参考にしてください。

当該地域の応力状態の概要を知ることは、東南海・南海地震の発生予測精度向上のための地下水等の総合観測を行う上で基礎的な情報となります。特に歪(ひずみ: 地下の岩石の変形)の観測においては、観測開始時の初期状態を与えることになります。このような目的で、掘削された井戸や採取されたコアを用いた地殻応力測定が行われました。また、コアや孔壁の観察から地殻応力に関する重要な情報が得られています。ここではこれまで得られている地殻応力に関する結果の概要について報告します。

## 2. 地殻応力測定

掘削された井戸を用いて以下の3種類の方法による地殻応力測定が実施されました。

### 1) 水圧破砕法

測定区間の孔内水圧を高めて孔壁に引張亀裂を

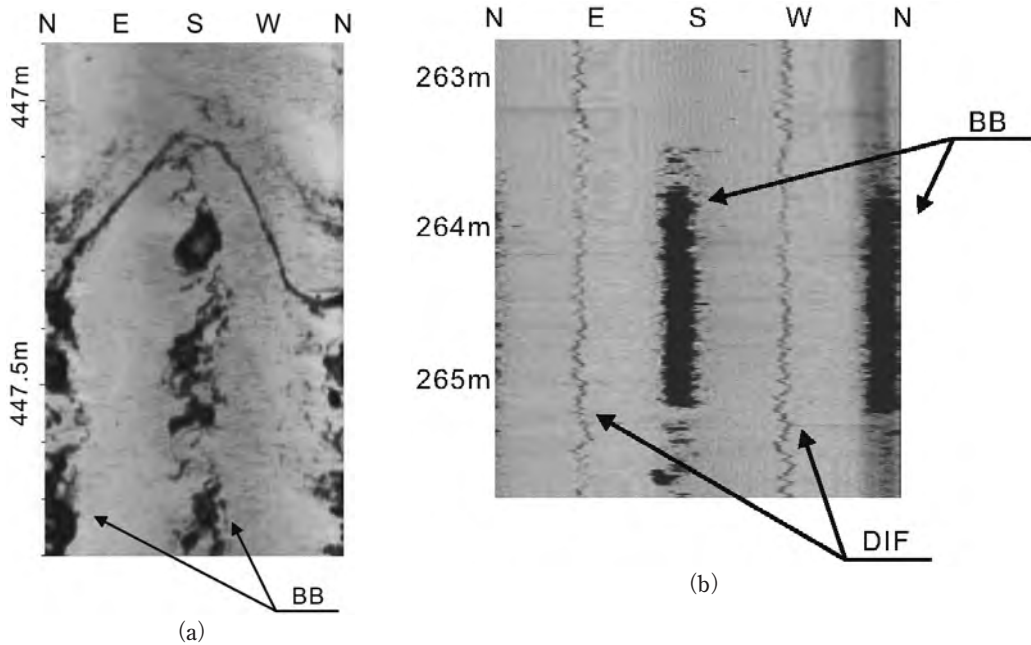
発生させた後、減圧、加圧を繰り返して亀裂を開閉させます。亀裂が(再)開口、閉口する時の圧力を計測することで応力の大きさを推定します。亀裂は最大水平圧縮応力の方向に生成されるので、孔壁の型取りなどにより亀裂の方向を求めることで、応力の方位を知ることができます。600m孔の地表から深度570mまでの間で、コアや検層データを参考に、孔壁の状態の良い場所で1観測点につき最大7深度を選んで測定しました。実施場所は、愛知県豊田市下山(表紙図のN1)、三重県紀北町海山(N3)、熊野市井内浦(N4)、高知県土佐清水市(N12)の4観測点です。再開口圧を精度よく測定するため、流量および水圧は測定区間の直上に取り付けたセンサで測定しました。

### 2) 応力解放法

歪観測開始時の応力状態(初期応力)を知る目的で、歪計の入っている地殻活動総合観測装置の設置位置近傍で測定しました。地下の岩石に加わっていた応力が掘削によって解放される時の歪変化を測定して地殻応力を推定する方法です。水圧破砕法では孔壁を破壊し、歪観測に悪影響を及ぼす可能性があるため、上記装置近傍での応力測定では応力解放法が採用されました。今回採用したのは地下深部での測定のために開発されたもので、孔底に掘削された小孔径の孔に専用の小型歪計を埋設し、それを大孔径のビットでオーバーコアリングする方法です(石井・山内, 2005)。歪計設置位置近傍である600m孔の孔底付近の孔壁状態が良好な豊田下山、海山、井内浦の3観測点において実施しました。

1) 産総研 活断層・地震研究センター  
2) 産総研 地質情報研究部門  
3) 産総研 地圏資源環境研究部門  
4) (株)ジオテクノス

キーワード: 地殻応力測定, 東南海・南海地震, 水圧破砕法, 応力解放法, 浅部応力方位測定, DSCA法, ポアホール・ブレイクアウト, Drilling Induced Fracture, P波速度異方性



第1図 BHTVによる孔壁の観察記録. (a) 阿南桑野600m孔の深度約447m. BBが認められます. (b) 海山600m孔の深度265m付近. 同一深度でBBとDIFが認められます.

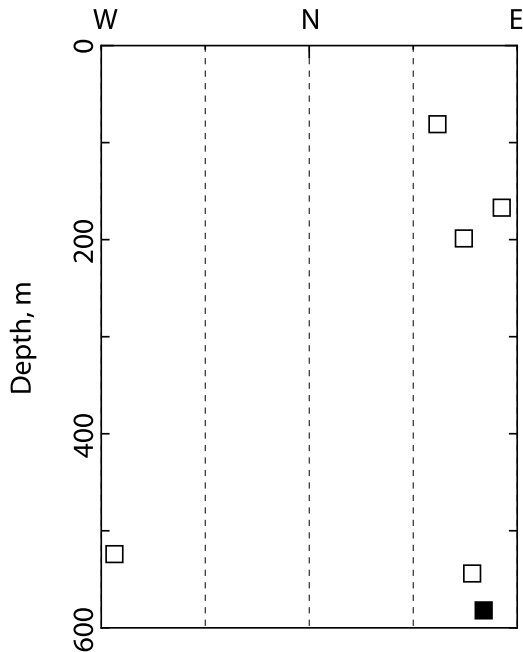
### 3) 浅部応力方位測定

掘削直後の浅い井戸の形状変化をレーザー変位計で計測することにより、主応力の方位を推定する方法です(桑原・木口, 2006). 地表付近の地質が比較的しっかりした岩盤であった豊田下山および徳島県阿南市桑野(表紙図のN7)の30m孔において測定しました.

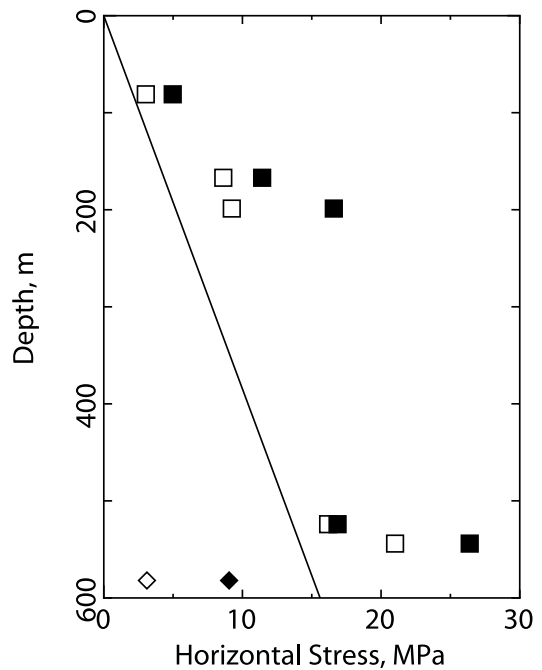
応力解放法による初期応力測定ができなかった観測点では、歪計設置位置近傍から採取した定方位コアを用いてDSCA法(Strickland and Ren, 1980)による応力測定が行われました. DSCA法は、地下の応力状態から解放されたコアには、解放前にかかっていた応力の異方性(方向による応力の大きさの違い)に比例した微小クラックが発生するとの仮定のもとに、コアから作成した立方体試料に静水圧を加え、微小クラックの閉鎖によって生じる歪の異方性を測定するものです. クラック異方性は、歪のほか弾性波速度の異方性としても捉えることができます. 井内浦および土佐清水から採取されたコアを用いて正98面体試料を作成してP波速度異方性測定(奈良ほか, 2008)が行われ、DSCA法の結果と比較されました.

### 3. コアおよび孔壁の観察から得られた地殻応力に関する情報

ボアホール・テレビュア(BHTV:超音波を用いて孔壁の画像を取得する手法)やボアホール・カメラによる孔壁の観察から、いくつかの観測点でボアホール・ブレイクアウト(BB)といわれる現象や掘削時に発生した引張破壊(Drilling Induced Fracture, DIF)による割れ目が見出されました. 孔壁近傍の圧縮応力は、孔を掘削したことによって生じた応力集中により最小水平圧縮応力の方向で最大になり、それが岩石の一軸圧縮強度を超えると圧縮破壊が生じます. これがBBです(Zoback *et al.*, 1985). DIFは水圧破碎試験と同様に最大水平圧縮応力の方向に現れます. したがって、BBやDIFの出現方位は地殻応力状態に関する重要な情報を提供してくれます. 第1図はBHTVによって観察されたBBおよびDIFの例です. 第1図(a)は阿南桑野600m孔の深度約447mの例でBBが認められます. 第1図(b)は海山600m孔の深度265m付近の例で、同一深度でBBとDIFが認められます. どちらの場合も最大水平圧縮応力がほぼ東西を向いていることを示しています. これまでに、BBは



第2図 豊田下山における最大水平圧縮応力方位の深度分布。□は水圧破砕法，■は応力解放法によって得られたデータを表します。



第3図 豊田下山における最大および最小圧縮応力の深度分布。■および□は水圧破砕法によって得られた最大および最小水平圧縮応力。◆および◇は応力解放法によって得られた最大および最小水平圧縮応力。実線は密度2.6g/cm³を仮定した場合のかぶり圧。

三重県松阪市飯高町赤桶(表紙図のN2)、海山、井内浦および阿南桑野において、DIFは海山、井内浦および土佐清水において確認されています。

このほか海山等ではボーリングコアが板状に破壊するディスクングといわれる現象が認められました。コアディスクングの割れ目の形状からも地殻応力に関する情報を抽出することが可能です(Matsuki *et al.*, 2004)。

#### 4. 結果の概要

第2図に水圧破砕法および応力解放法によって得られた豊田下山観測点における最大水平圧縮応力方位の深度分布を示します。最大水平圧縮応力の方位は東-西から東北東-西南西方向が卓越しています。豊田下山のほか飯高赤桶、井内浦、海山、阿南桑野、土佐清水において、水圧破砕法、応力解放法、BBあるいはDIFのデータにもとづき、地殻応力方位に関する情報が得られています。複数の種類のデータが得られた観測点では、互いにあまり矛盾しない結果が得られました。それによると最大水平圧縮応

力の方位は北東-南西から東-西方向が卓越することが分かりました。井内浦では他の観測点よりも若干南-北方向に向いている傾向が認められます。今後さらに詳しく解析する予定です。第3図は豊田下山における最大水平圧縮応力および最小水平圧縮応力の深度分布を示します。水圧破砕法によって得られた結果は鉛直方向の圧縮応力が最小主応力になっており、逆断層型の応力場が示唆されます。応力解放法によって得られた応力値は水圧破砕法によって得られた値に比べて小さく、今後の検討課題です。

DSCA法とP波速度異方性測定の結果を比較すると、異方性の大きな土佐清水のコア(花崗岩、速度異方性約24%)を用いた測定結果は互いに良く一致するが、井内浦(凝灰岩、速度異方性約5%)の場合はあまり良く一致しませんでした。DSCA法、浅部応力方位測定の結果は水圧破砕法等によって求められた応力方位に良く一致する場合もあるが、一致しない場合もあり、結果の評価にはさらなる検討が必要で

す。水圧破碎法や応力解放法による地下深部での応力測定は一般に高価であり、数多くの点で測定することは困難です。それらの結果を補完する意味でも、比較的安価に測定可能なコアを使った応力測定や浅部での応力方位測定手法の開発・改良が望まれます。

#### 参 考 文 献

- 石井 紘・山内常生(2005):地震予知研究のための応力開放法による深部応力測定-計器開発による地下深部(1km以上)における応力観測と地殻活動総合観測-,地震予知連絡会会報, 73, 641-648.
- 小泉尚嗣・高橋 誠・松本則夫・佐藤 努・大谷 竜・北川有一・板場智史・梅田康弘・武田直人・重松紀生・桑原保人・佐藤隆司・今西和俊・木口 努・関 陽児・塚本 斉・山口和雄・加野直巳・住田達哉・風早康平・高橋正明・高橋 浩・森川徳敏・角井朝昭・下司信夫・中島 隆・中江 訓・大坪 誠・及川輝樹・干野 真(2009):東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測点整備について,地質ニュース,本特集号.
- 桑原保人・木口 努(2006):地殻応力方位測定法-岩盤のクリープ変形を利用した新しい技術の開発-,技術探査, 11, 28-33.

Matsuki, K., Kaga, N., Yokoyama, T. and Tsuda, N. (2004): Determination of three dimensional in situ stress from core discing based on analysis of principal tensile stress, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 41, 1167-1190.

奈良禎太・加藤春實・金子勝比古(2008):微視き裂分布評価を目的とした多面体試験片を利用した花崗岩の主軸方向決定法,資源と素材, 124, 725-732.

Strickland, F. G. and Ren, N.-K. (1980): Use of differential strain curve analysis in predicting the in-situ stress state for deep wells, in *Proc. 21<sup>st</sup> US Symp. Rock Mech.*, 523-532.

Zoback, M. D., Moos, D., Mastin, L. and Anderson, R. G. (1985): Wellbore breakouts and in situ stress, *J. Geophys. Res.*, 90, 5523-5530.

---

SATOH Takashi, KITAGAWA Yuichi, KIGUCHI Tsutomu, TSUKAMOTO Hitoshi, SHIGEMATSU Norio, ITABA Satoshi, SATO Tsutomu, SEKI Yoji, UMEDA Yasuhiro, KATO Harumi and KOIZUMI Naoji (2009): A preliminary report of crustal stress measurements using boreholes and boring cores at the integrated groundwater observation stations for forecasting the Tonankai and Nankai earthquakes.

<受付:2009年8月10日>