

産総研 地震地下水観測ネットワーク

高橋 誠¹⁾・松本則夫¹⁾・佐藤 努¹⁾・北川有一¹⁾・大谷 竜¹⁾・小泉尚嗣¹⁾

1. はじめに

地下水観測, なかでも地下水位の観測は, 地下水管理等の各種の目的で多数の観測点が設置されています。また, 多くの温泉でも流量・温度等の観測が行われています。そして大きな地震があったときに, 地下水の観測データに変化があったという記録が古文書にも記録されており, 最近の地震においても多くの報告が積み重ねられてきています。

産業技術総合研究所ではこれらの地下水変動を正確に記録し, その変動のメカニズムを明らかにすることを目的とし, 予想される東海地震を対象とした地下水観測を1978年(当時は工業技術院地質調査所)以来継続しています。静岡県内では延べ26ヶ所でオンラインで観測データを取得してきました(高橋, 1993)。一部のデータは気象庁に転送され, 東海地震予知の監視データとして, 国の地震予知計画の一端を担ってきました。これらの観測点は,

観測データの質を検査して取捨選択を行い現在では16ヶ所で観測を続けています。当初から観測を継続している6ヶ所の観測井では, 25年間の観測データが蓄積されました。その後, 兵庫県南部地震後の1997年からは近畿地域にも観測井を設置し(佃ほか, 1996), 2000年三宅島噴火の際にも観測井設置を行い, 現在では40以上の観測井で観測を続けています。地下水を用いた地震予知研究のための観測網としては, 最大規模と言えるものとなった産総研地下水観測網の概要を紹介します。

2. 観測井

2.1 観測井配置

現在の観測井配置を第1図に示します。当初の目的は東海地震の予知研究であったため, 主に静岡県内に観測点を設置してきましたが, その後は兵庫県南部地震を契機にして近畿地域にも対象を広



第1図
観測点配置図。

1) 産総研 地球科学情報研究部門 地震地下水研究グループ

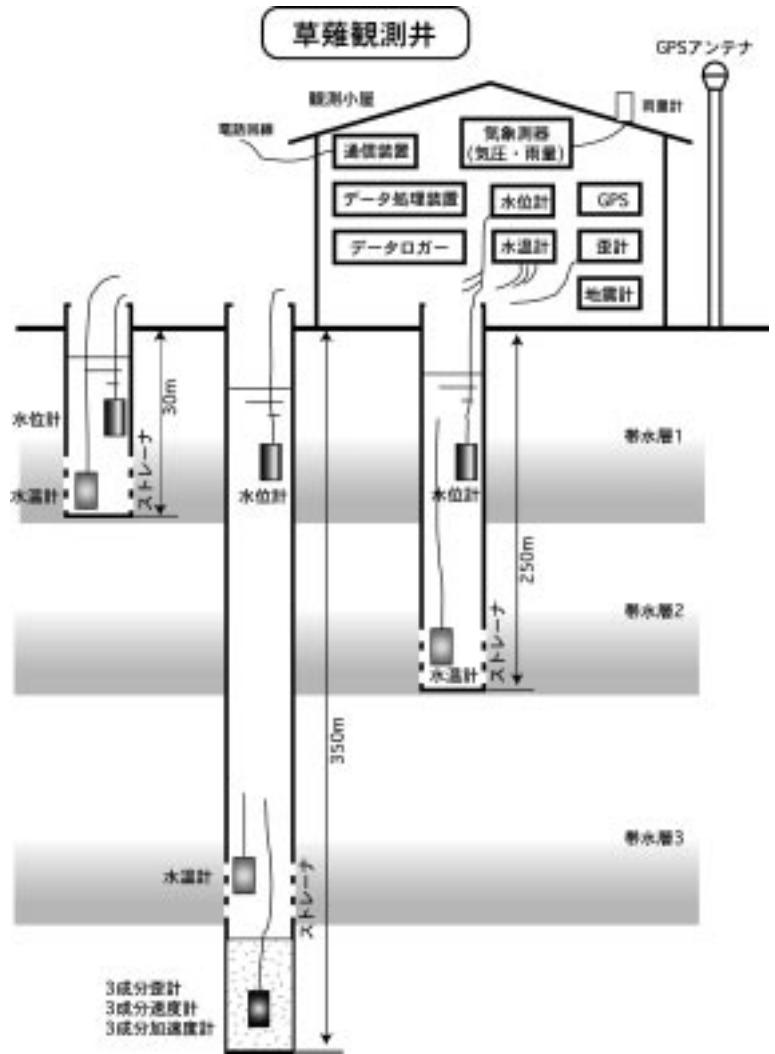
キーワード: 地下水観測, 地下水位, 地震予知, テレメータ, 時系列解析

第1表 観測井一覧.

No.	観測井	観測項目	通信間隔	回線速度/種別
1.	つくば	LT	2分	LAN
2.	川崎	L	1日	14.4kbps/modem
3.	姫の湯	QTR	1日	14.4kbps/modem
4.	冷川南	L	1日	14.4kbps/modem
5.	大室山北	LT	30分	2.4kbps/DDX-P
6.	伊東(赤沢)	QTR	30分	2.4kbps/DDX-P
7.	草薙	LT BSG	30分	2.4kbps/DDX-P
8.	藤枝	R	1日	14.4kbps/modem
9.	椋原	LT	30分	2.4kbps/DDX-P
10.	牧の原	LT	1日	64kbps/ISDN
11.	小笠	L	1日	14.4kbps/modem
12.	掛川	L	1日	14.4kbps/modem
13.	大東	L	1日	14.4kbps/modem
14.	浜岡	LT	30分	2.4kbps/DDX-P
15.	御前崎	L	1日	14.4kbps/modem
16.	豊橋	LTRB G	30分	2.4kbps/DDX-P
17.	王滝	LT	1日	64kbps/ISDN
18.	宮川	L BS	1日	64kbps/ISDN
19.	跡津川	L B	1日	14.4kbps/modem
20.	桑名	LT	1日	14.4kbps/modem
21.	南濃	LT	1日	14.4kbps/modem
22.	北勢	LT	1日	14.4kbps/modem
23.	秦荘	LT BS	1日	64kbps/ISDN
24.	木之本	LT	1日	14.4kbps/modem
25.	花折	LT BS	1日	64kbps/ISDN
26.	大原	LT BS	1日	64kbps/ISDN
27.	黄檗	LT S	1日	64kbps/ISDN
28.	広陵	LT	1日	64kbps/ISDN
29.	五條	LT	1日	14.4kbps/modem
30.	根来	LT BS	1日	64kbps/ISDN
31.	天王寺	LT BS	1日	64kbps/ISDN
32.	池田	LT BSG	1日	LAN
33.	猪名川	LT BS	1日	64kbps/ISDN
34.	宝塚	LT BS	1日	64kbps/ISDN
35.	平林	LT S	1日	64kbps/ISDN
36.	青波	LT BS	1日	64kbps/ISDN
37.	西淡	LT	1日	64kbps/ISDN
38.	板東	LT B	1日	64kbps/ISDN
39.	安富	LTRBSG	1日	64kbps/ISDN
40.	安富北	LT	1日	14.4kbps/modem
41.	三宅島	LT	1日	4.8kbps/衛星携帯
42.	伊達	LT	1日	14.4kbps/modem

観測項目 L:地下水位 Q:自噴量
 T:水温 R:ラドン濃度
 B:歪 S:地震計
 G:GPS

回線種別
 modem: モデム(NTT 公衆回線)
 ISDN: ルータ(NTT INS64)
 DDX-P: NTT バケツ交換回線
 LAN: ネットワーク接続



第2図 草薙観測井の構造.

げ、将来的には東南海・南海地震にも対応することを考えています。また、火山噴火予知にも応用できると考え(佐藤ほか, 2004), 三宅島や有珠山にも観測井を設置しています。図中に示された数字は、第1表の観測点番号に対応したものです。

2.2 観測井の構造

地下水は気圧変化や降雨などの気象条件によって変化します。浅く、地表から直接つながっているような地下水は雨水によって急激に増加してしまいます。また、工業用水、農業用水、上水道などによる人工的な地下水汲み上げによって地下水は減少します。地下水の地殻変動による微小な変化を観測するためには、これらの影響は大きな雑音となります。

地下水は多くの場合、地下に均一に分布してい

るわけではありません。不透水層と言われる水を通さないような岩盤あるいは粘土層によって上下に分けられ、水平方向に連続して分布します。これを帯水層と呼びます。通常は異なる深さに複数の帯水層が存在し、地下水利用をする場合には、多くの場合は浅いところの帯水層が使用されます。そのため、我々の観測井では、地下水が利用されている帯水層よりも100m以上深いところにある帯水層を対象とするようにしています。また、単一の帯水層のみを観測するために、目的の帯水層の位置のみに鋼管にストレーナと呼ばれる水の通り道を設置し、それ以外のところはセメントで遮水して他の帯水層の影響を受けないようにしています。



写真1 草薙観測井観測小屋。



写真2 草薙観測井250m井の管頭。

観測井の構造の例として、第2図に草薙観測井の構造を示します。ここでは、人工的な影響や、降雨による地下水変化が、深い帯水層にどのように影響するか観測を行っており、地殻変動による水位変化の深さによる違いを評価するために、複数の帯水層に測定機器を設置しています。草薙観測井の観測機器を収納する小屋の概観を写真1に、また、250m井の管頭(孔井の最上部)を写真2に示します。

2.3 観測機器

地下水(地下水位)観測は、従来から多くの井戸で行われてきました。しかし、気象条件や人工的な汲み上げによる地下水位の変動に比べると、地殻変動による地下水位の変動は非常に小さいため、高精度な観測機器が必要となります。各観測項目は、

水位：1 mm

水温：0.001℃

気圧：0.2 hPa

雨量：0.5 mm

程度の精度で測定を行っており、気圧・雨量の測定データを用いて地下水位の気象条件による影響の除去を行っています。重要な観測点では地下水位のほかに、地殻変動と地下水変動の関係を検討するために、地震計、歪計、GPS等を設置し、観測を行っています。

機器の設置位置は第2図に示すように、気圧、雨量、GPSは地上に設置。水位計は地下水面のすぐ下に圧力式のセンサーを設置しています。また、水温計は帯水層の位置に設置。歪計は観測対象の帯

水層に近い場所の岩盤中にセメントで固定してあります。地震計も歪計の近くに埋設してあり、観測点によっては地上にも設置されています。各観測井における観測項目の一覧を第1表に示します。

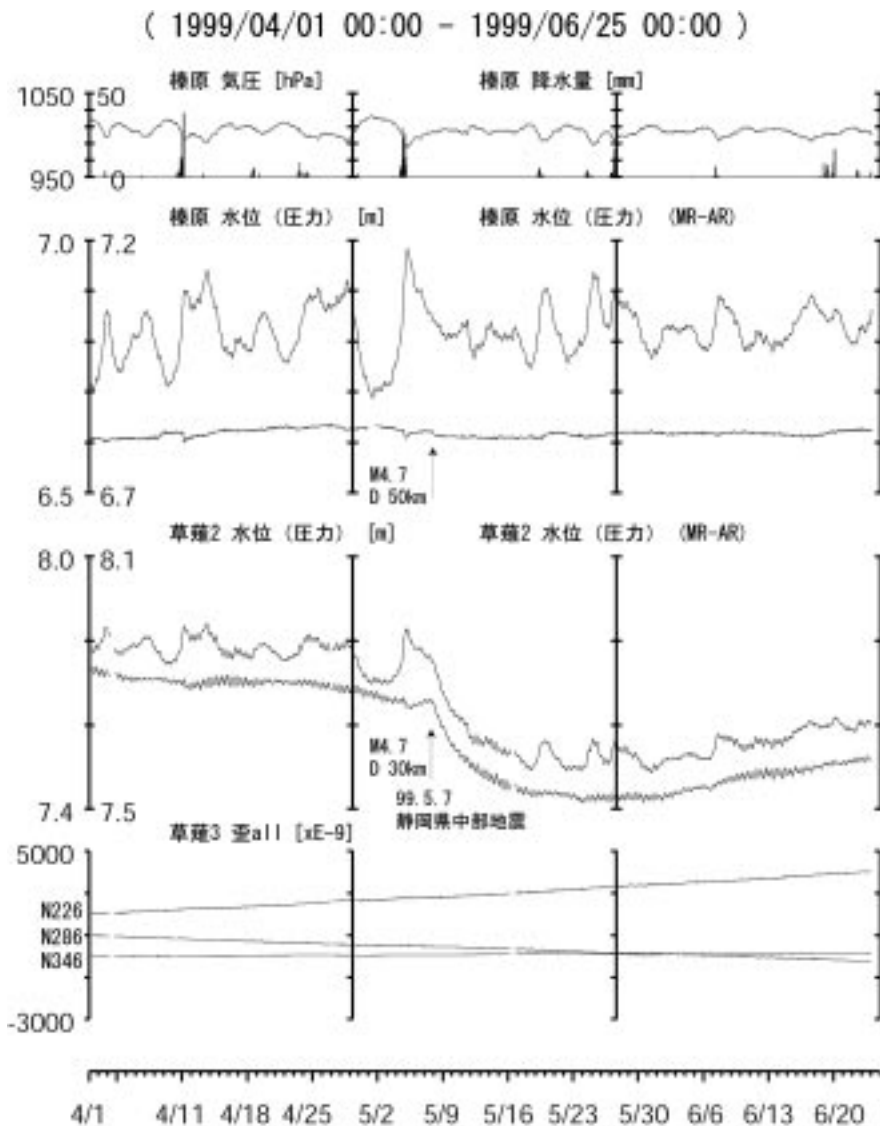
地震計およびGPS以外の測定項目は、基本的に測定間隔を2分とし、観測機器によって取得したデータは、観測点にあるデータロガーに保存します。観測項目の多い観測点では、パソコンを設置し、すべての観測データをこのパソコンに集めて保存します。

2.4 データ通信

観測点に保存されたデータは、おもに電話回線を使って送信しています。データロガーは通信用の外部端子を持つものを使用し、モデム等に直接接続することが可能となっています。また、地震計、歪計などを併設した観測点ではデータ量が大きくなるため、パソコンにまとめたデータを圧縮して、データ送信を行っています。

通信頻度は観測データの重要性を考慮して決めます。東海地域の重要な観測点ではNTTのパケット通信網を利用し、10分または30分毎のデータ通信を行っています。それ以外の観測点では、夜と朝の2回、まとめて通信をします。ただし、緊急時等には通信回数を増やすことができるような柔軟な設定となっています。

通信されたデータは、直接または大阪府池田市の産総研関西センター経由で茨城県つくば市の産総研 地球科学情報研究部門で受信し、部門内に設置されたサーバに集録され解析が行われます。



3. 観測データの解析

サーバに蓄積されたデータの表示等はすべてWEBインタフェースで処理することができるので、データを利用するユーザは各自の持っているパソコンで、ブラウザソフトを使用してアクセスが可能です。

前述したように、大きな地震の際に地下水位や水温・水質に変動が観測された例が多くあります。しかし、それらの変化の原因はまだ明らかになっていない部分が多く、信頼できる観測例も多くはないのが現状です。そこで、当研究グループでは現在のところ、変動の原因が明らかになりつつある地下水位データを中心に解析を行っています。

地下水位は、地下の帯水層に存在する地下水の圧力(間隙水圧)を反映しています。地殻変動によって地殻歪が変化する(地面が伸縮する)と、帯水層が微小な変形をして間隙水圧が変化すると考えられます。しかし、地下水位は気象条件等によっても大きく変化します。そこで、本システムでは気圧、雨量、潮汐の影響を除去するための解析手法を開発し(松本ほか, 1989; Matsumoto, 1999), 地下水位データの解析に使用しています。

第3図に解析例を示します。図の一番上は榛原観測井における気圧と雨量を表しています。2番目と3番目は榛原と草薙の水位データで、それぞれ観測値と、気圧・雨量・地球潮汐の影響を除去し

た解析値を示しています。一番下は草薙の歪計の観測値です。観測値のままでは地震による水位変化は、明瞭ではありませんが、解析値では地震時に水位低下が始まっていることがわかります。

4. データ公開

毎日自動的に解析されたデータは「WellWeb」と名づけたWEBサイトとしてインターネットに公開されています(第4図)。また、本システムで使われている時系列解析のプログラムも利用できるのもので、自分で観測したデータを入力して解析することもできます。

WellWebのURLは、<http://gxwell.aist.go.jp/>です。そのトップページから

- ・「最新データ表示システム」の項にある「地下水・歪データ表示」を選ぶことにより、最新の地下水観測データを見ることができます。自動的に収集された地下水データは毎日自動解析が行われ、WEBの表示も自動更新されています。

- ・「ユーザーデータの解析」の項では、各自で用意した任意のデータを解析することができます。「ユーザーデータのBAYTAP/tpe/tper/mrar解析」は、地下水位データの解析に適したもので、自動処理にも使用されている解析手法です。また、「ユーザーデータの時系列データ解析」では、各種の時系列解析の手法(北川, 1993)をWEBから利用することができます。

最初に述べたように、地下水の観測は比較的容易に行うことができ、既に各種の目的のために地下水観測を行っている組織も多いと思われます。今後も使いやすいものに改善していく予定ですので、これらのデータを所持している方にはぜひ利用していただきたいと希望しています。

5. おわりに

公開の項で述べたように、観測データの公開はもちろん、解析のノウハウ等も積極的に公開していく方針です。地震予知を目的とした地下水観測網は、他にはあまり例がありません。しかし、地下水は種々の目的で観測されており、埋もれているデータも大量に存在するはずで、本システムを利用して、それらのデータが活用されることを期待しています。



第4図 WellWebのトップページ。

子どもの地下水観測ネットワークは、多くの人の協力をいただいて成り立っています。特に、観測に関しては地元自治体や、住民の方の協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 北川源一郎(1993): FORTRAN77時系列解析プログラミング, 岩波書店.
- 松本則夫・高橋 誠・北川源一郎(1989): 地震に伴う地下水位変動の定量的な検出法の開発—多変量線形回帰モデルの地下水位時系列への適用—, 地質調査所月報, 40, 613-623.
- Matsumoto, N. (1999): Detection of Groundwater Level Changes Related to Earthquake, in "The Practice of Time Series Analysis", ed. By H. Akaike and G. Kitagawa, Springer-Verlag New York, Inc., 341-351.
- 佐藤 努・松本則夫・太田英順・松島喜雄(2004): 噴火の前に湧き出した地下水, 産総研シリーズ「火山」, 丸善, 121-139.
- 高橋 誠(1993): 地震予知のための地下水テレメータ観測システム, 地学雑誌, 102, 241-251.
- 佃 栄吉・高橋 誠・佐藤 努・松本則夫・伊藤久男(1996): 地質調査所における地震予知地下水観測網—近畿地域の地下水観測井の新設—, 地質ニュース, no.505, 11-15.

TAKAHASHI Makoto, MATSUMOTO Norio, SATO Tsutomu, KITAGAWA Yuichi, OHTANI Ryu and KOIZUMI Naoji (2004): Groundwater Observation Network for Earthquake Prediction Research.

< 受付: 2004年2月18日 >