

東海地方東部における

地震予知のための地下水観測システムの完成について

加藤 完・池田 喜代治・村下 敏夫・佃 栄吉・杉山 雄一 (環境地質部)
 Kan KATO, Kiyoji IKEDA, Toshio MURASHITA, Eikichi TSUKUDA, Yuichi SUGIYAMA

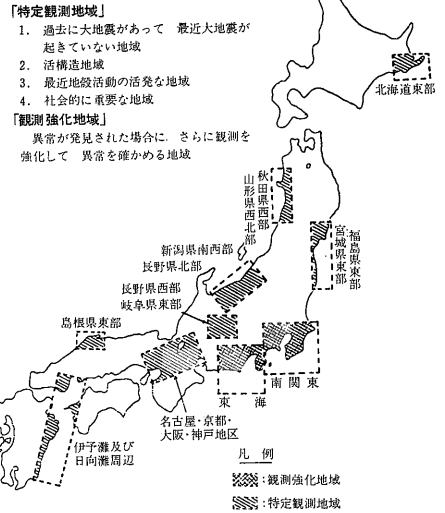
1. はじめに

東海地方は昭和48年2月地震予知連絡会により「観測強化地域」に指定されていたがその後昭和51年10月の地震学会において駿河湾を震源域とする大地震の発生の可能性が指摘されたことを契機として関係省庁が協力して観測を強化することになった(第1・2図)。

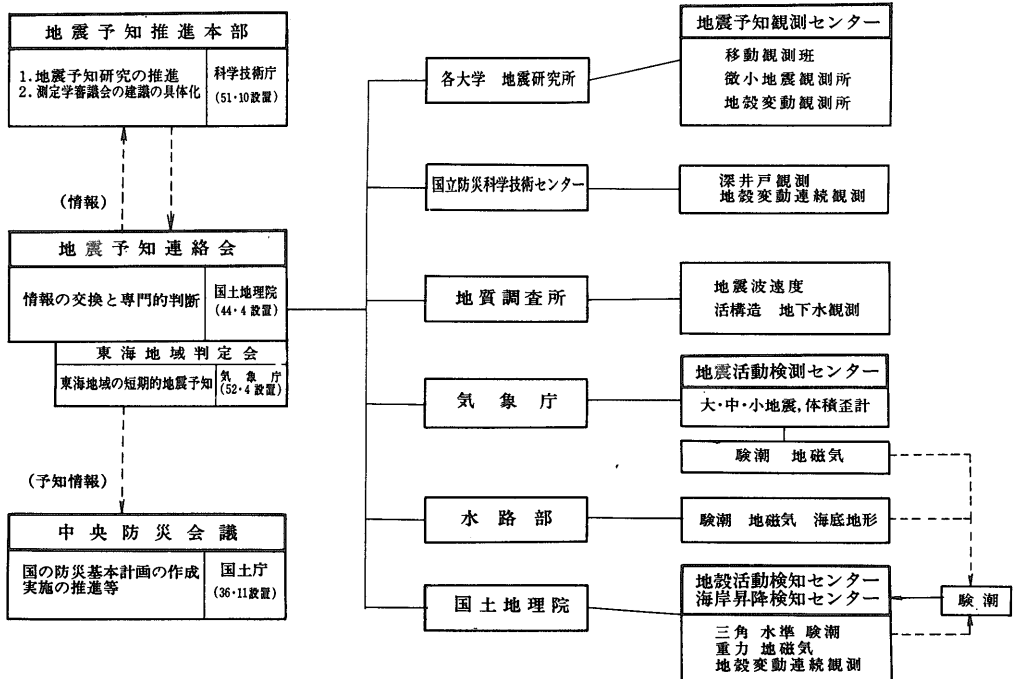
地質調査所では地殻活構造や地震波速度の調査・観測とともに地下水の研究・観測をも担当しこの地域に地震予知のための地下水観測システムを設置することになった。この計画は3年計画で昭和51年度後半から発足し昭和51年度には清水市立庵原中学校に水位観測井と水質・ラドン観測井を設置した(加藤ほか 1979)。

昭和52年度には静岡市立賤機南小学校と相良町立つくしの家敷地内に水位観測井を大東町役場駐車場内に水位・ラドン観測井を設置した(加藤ほか 1979)。

昭和53年度には新たに榛原町石雲寺付近に水位観測井を浜岡町立佐倉保育園敷地内に水位・ラドン観測井を設置し昭和53年度末に東海地方東部地域の地下水観測



第1図 観測強化 特定観測地域 (国土地理院 1978による)



第2図 地震予知組織図 (国土地理院 1978による)

第1表 観測井諸元

名称	位置	観測機器	ストレーナ部の地層	深度(m)	ストレーナー(m)	口径(mm)	観測期間(年・月)
地質調査所 清水地区 水位観測井	清水市市原 庵原中学校	水位計・雨量計・気圧計・湿度計・水温計	第三紀 和田島層群・ 小河内層群	50	44.5~50	200	1977.4~
地質調査所 清水地区 水質・ラドン 観測井	清水市市原 庵原中学校	水質自動観測装置 ラドン計	第三紀 和田島層群・ 小河内層群	60	43.5~60	200	1977.4~
地質調査所 賤機地区 水位観測井	静岡市 賤機南小学校	水位計・雨量計・気圧計・水温計	第四紀 沖積層	100	20~37	300	1978.2~
地質調査所 相良地区 水位観測井	相良町相良 つくしの家	水位計・雨量計・気圧計・水温計	第三紀 相良層群	170	44~55 115~126	200	1978.2~
地質調査所 大東地区 水位・ラドン 観測井	大東町三俣 大東町夜場	水位計・雨量計・気圧計・水温計・ラドン計	第三紀 掛川層群	260	144.5~166.5 210.5~221.5	200	1978.2~
地質調査所 榛原地区 水位観測井	榛原町坂口	水位計・雨量計・気圧計・水温計	第三紀 掛川・相良層群	170	71~154	200	1979.3~
地質調査所 浜岡地区 水位・ラドン 観測井	浜岡町佐倉 佐倉保育園	水位計・雨量計・気圧計・水温計・ラドン計	第三紀 相良層群	270	154~265	200	1979.3~
静岡県 新居ラドン観測井	新居町新居	ラドン計	?	393	260.5~271.5 299 ~ 304.5 365 ~ 370.5	300 (200m まで) 200 (393m まで)	1978.7~
静岡県 袋井ラドン観測井	袋井市豊沢	ラドン計	第四紀 小笠山礫層	130	64~75 99.5~124.5	300	1978.7~
静岡県 静岡ラドン観測井	静岡市みずほ 長田南小学校	ラドン計	第四紀 沖積層	150	100.8~117.3	300	1978.7~
静岡県 蒲原ラドン観測井	蒲原町 蒲原地震山下	ラドン計	第四紀 火山砂礫層	121	60~121	350	1978.7~
静岡県 富士宮ラドン観測井	富士宮市 安居山上ノ原	ラドン計	第四紀 鷺ノ田礫層	120	53.8~67.1 78.5~96.8 102.3~114.5	350	1978.7~

また観測井の設置に際しては 自然的要因(降水) および人為的要因(灌漑・揚水)の影響の少ない 第三紀層中の地下水を対象として既存井の選定および新設井の位置選定を行った。これら観測井の位置は第3図にその諸元は第1~3表に示した。

2-1 榛原地区水位観測井

本観測井および浜岡地区水位・ラドン観測井は気象庁が体積歪計を設置した場所に近接し 体積歪計の観測データと水位・ラドンの観測データを相互比較できるよう配慮して選定した。その位置は榛原町坂口石雲寺の東側にあり 気象庁体積歪計埋設位置からの距離は約 200 mである。付近には第三紀鮮新世の掛川層群の下部層が分布している(第5図)。孔井の地質は 深度0~3 m間はロームで 3~130 m間は砂岩を主とし 110~115 m間は砂礫層を挟み 130~170 m間は泥岩を主とする。なお深度130 mまでは掛川層群 130 m以深 孔底までは相良層群と考えられる(第6図)。

掘さく工事は日鉱探開株式会社により実施され 利根製 TBM-70 型掘さく機にてトリコンビットを使用しロータリー方式で掘さくした。カッティングと電気検

層の結果より 71~154 m間にスリットを切り 口径200 m鋼管で仕上げた(第7図)。揚水試験は段階揚水試験および連続揚水試験を行った。その結果 透水係数は 4.60×10^{-5} cm/sec と小さい値で多量の揚水は不可能であった(第2表)。水質はアルカリ度が高く 塩化物の多い水である(第3表)。

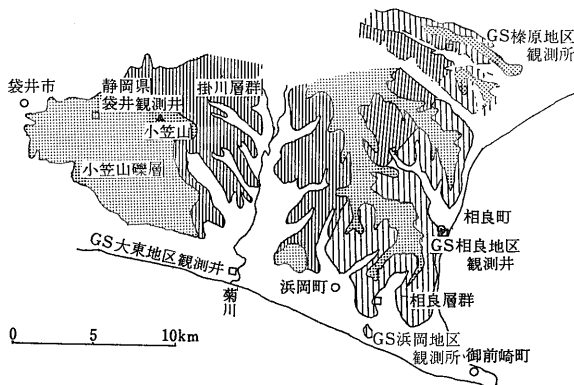
掘さく完了後 コンクリートブロックにて観測小屋を建設し 内部は第7図に示すように 中浅測器製の水位計・水温計・雨量計・気圧計を設置し モニター用として6打点記録計にて自動記録するとともに テレメータシステムによつて観測データを地質調査所に伝送している。

2-2 浜岡地区水位・ラドン観測井

本観測井は浜岡町立佐倉保育園敷地内に位置している。気象庁体積歪計の埋設位置からの距離は約 150 mである。付近は第三紀中新世の相良層群が分布している(第5図)。孔井の地質は 深度0~19 m間は砂岩よりなり 19~47 m間はシルト 47~160 m 間は砂質泥岩 160~270 m間は泥岩よりなる。深度19 m以深孔底までは相良層と考えられる(第8図)。

第2表 揚水試験結果

観測井名	水理常数		透水量係数 m^2/sec	透水係数 cm/sec
	解析法			
地調清水 水位観測 井	連続	Theis	7.96×10^{-6}	1.59×10^{-4}
	連続	Jacob	9.10×10^{-6}	1.80×10^{-4}
	回復	Theis	6.12×10^{-6}	1.22×10^{-4}
	回復	Jacob	6.50×10^{-6}	1.30×10^{-4}
	平均値		7.42×10^{-6}	1.48×10^{-4}
地調清水 水質ラド ン観測井	連続	Theis	3.98×10^{-6}	2.65×10^{-5}
	連続	Jacob	2.23×10^{-5}	1.49×10^{-4}
	回復	Theis	3.98×10^{-6}	2.65×10^{-5}
	回復	Jacob	3.52×10^{-5}	2.35×10^{-4}
	平均値		1.64×10^{-5}	1.09×10^{-4}
地調相良 水位観測 井	回復	Jacob	5.54×10^{-3}	1.40×10^{-2}
地調大東 水位・ラ ドン観測 井	連続	Theis	2.10×10^{-5}	7.00×10^{-5}
	連続	Jacob	2.43×10^{-5}	8.10×10^{-5}
	回復	Theis	2.30×10^{-5}	7.67×10^{-5}
	回復	Jacob	2.34×10^{-5}	7.80×10^{-5}
	平均値		2.29×10^{-5}	7.64×10^{-5}
地調榛原 水位観測 井	回復	Jacob	4.70×10^{-6}	4.60×10^{-5}
地調浜岡 水質・ラ ドン観測 井	降下	Theis	5.43×10^{-6}	5.43×10^{-6}
	降下	Jacob	5.02×10^{-6}	5.02×10^{-6}
	降下	Stallman	5.26×10^{-6}	5.26×10^{-6}
	回復	Jacob	3.75×10^{-6}	3.75×10^{-6}
平均値		4.86×10^{-6}	4.86×10^{-6}	



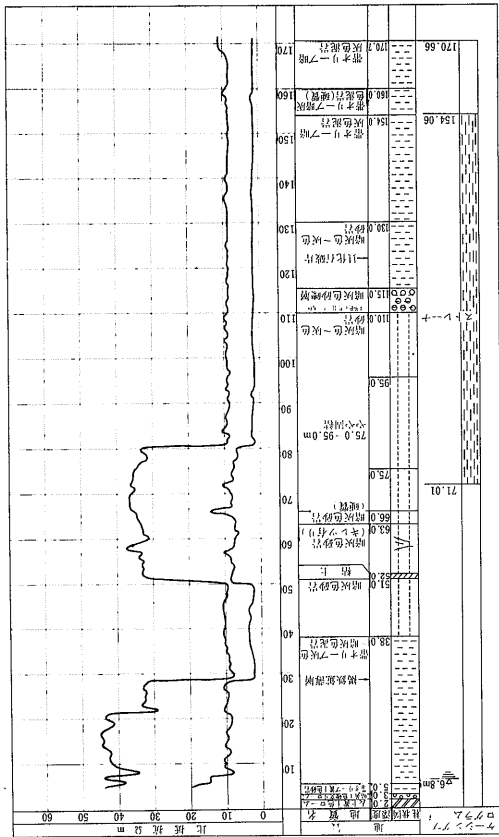
第5図 相良・大東・榛原・浜岡・および袋井観測井付近の地質図

掘さく工事は住鉱コンサルタント株式会社により実施され その工法はトリコンビットを使用しターンテーブル方式で掘さくした。 カuttingと電気検層の結果より 154~265m間にスリットを切り 口径 200mm鋼管で仕上げた(第9図)。 揚水試験は段階揚水試験および連続揚水試験を行った。 その結果 透水係数は $4.9 \times 10^{-5} cm/sec$ と小さい値で多量の揚水は不可能であった(第2表)。

掘さく完了後 コンクリートブロック製の観測小屋を建設し 内部に第9図に示すように 榛原地区水位観測井と同様な水位観測機器とアロカ製の水中ラドン連続測定器を設置した。 深度40mに設置した水中ポンプは毎分5リットル揚水し後者に送水し 地下水中のラドンガスのα線量・水温・流量を計測する。 モニター用として6打点記録計にそれぞれの記録が自動記録するとともに テレメータシステムにて観測データを地質調査所に伝送している。

第3表 観測井の水質

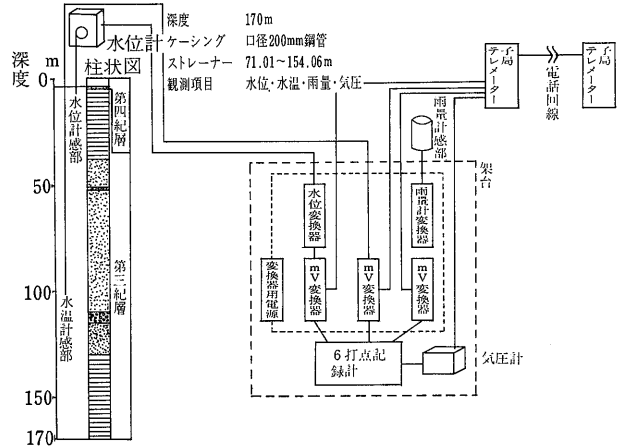
観測井名	水温	pH	アルカリ度 ($CaCO_3$ Mg/l)	Cl^- mg/l	SO_4^{2-} mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	Ca^{2+} mg/l	Mg^{2+} mg/l	採年月日	取日	備考
静岡県新井観測井	18.4	9.0	75.9	872.3	166.5	645.0	14.0	7.0	7.2	1977.5		井野ほか
静岡県蒲原観測井	16.0	7.7	64.6	38.4	—	—	—	—	—	1977.7		(1977)
地調 清水観測井	17.6	9.0	94.0	23.6	7.6	59.3	0.4	2.9	0.3	1977.6		"
地調 大東観測井	21.0	7.6	1340.0	892.0	—	—	—	—	—	1978.4		
地調 浜岡観測井	20.8	8.0	1350.0	33.3	14.3	500.0	24.5	14.0	6.1	1978.12		



第6図 榊原観測井地質柱状図・電気検層図

3. 自動観測機器

本地下水観測システムの水位観測井における自動観測機器としては 水位に影響を与える自然的要因を除去し 真の水位変化を求めるため 水位計のほかに雨量計・気



第7図 地質調査所榊原地区 水位観測井

圧計 また水温変化を求めるための水温計を同時に設置した。これらの機器類はいずれも中浅測器製で仕様は第4表のとおりであり 各機器の特徴は次のとおりである。

フロートレス水位計

本水位計はフロートを使用しない電極水面検出方式であつて 小口径の観測井あるいは揚水井での水位測定が可能である。

水温計

本水温計は白金測温抵抗体を防水管に封入し 水圧10 kg/cm² まで耐えられる機構になつている。温度変化による白金線の電気抵抗変化を検出することにより水温を測定する。

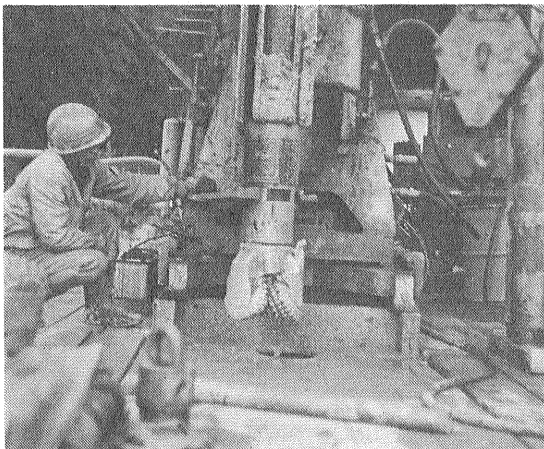
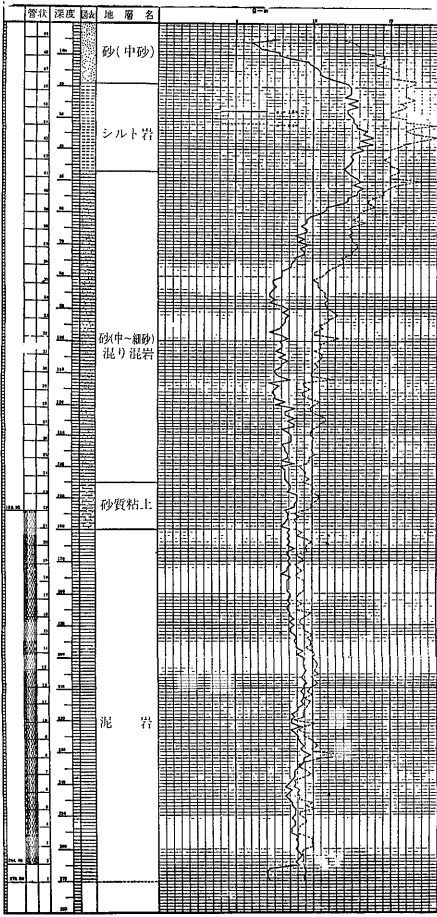


写真1 TBM掘きく機にてトリコンビットを使用しての掘きく



写真2 ストレナーを切った200m/m鋼管の溶接



第8図 浜岡観測井地質柱状図・電気検層図

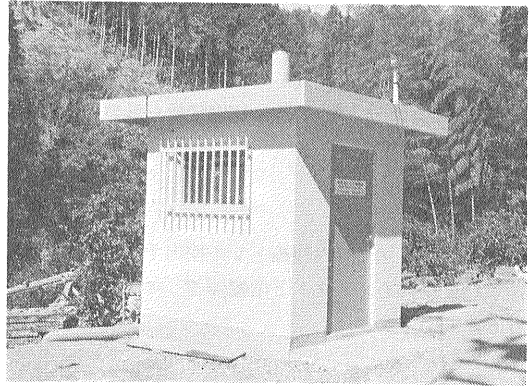


写真3 榛原地区水位観測小屋

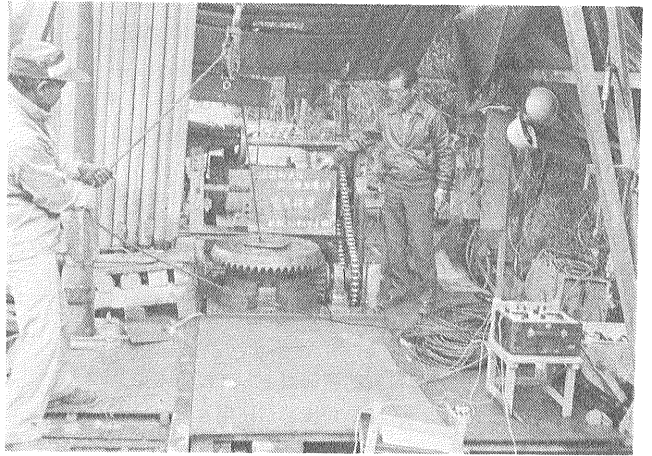
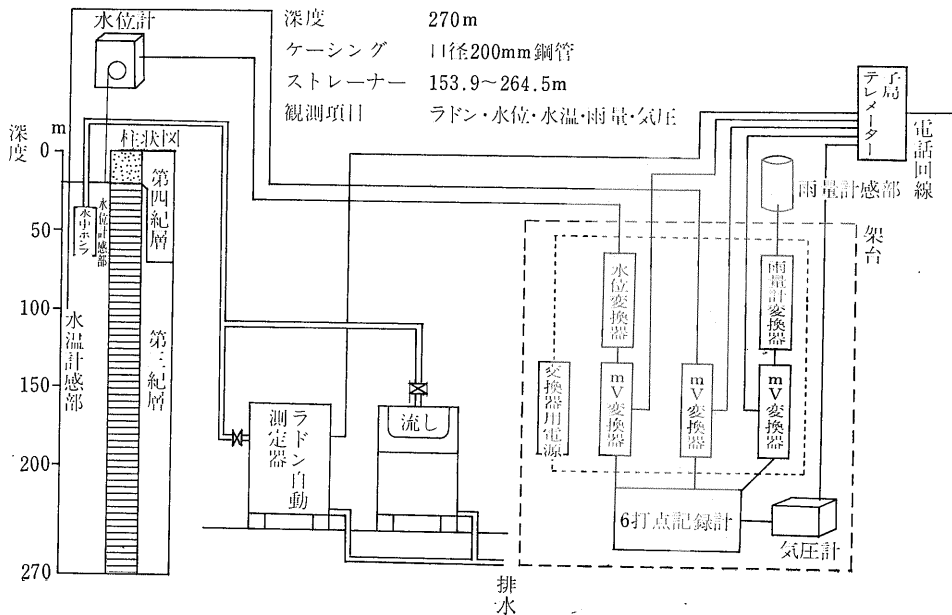


写真4 ターンテーブルを通して電気検層



第9図 地質調査所浜岡地区水位・ラドン観測井

雨量計

降水は転倒升に入り その量が 1mm相当の水量に達すると転倒升が倒れ この転倒升の転倒回数を計数することにより降水量を測定する。

気圧計

大気圧の変化をベローズの伸縮として検出する方法である。これを差動インダクトと増幅器で アナログの電圧信号として出力する。

電子式自動平衡記録計(6打点式)

観測データは6打点記録計(横河電機製M-186) によってモニター記録され 30日巻きチャートに打ち出される。これらのチャートは1週間毎に地質調査所に郵送され テレメータ記録のチェック等に用いられる。

水質観測井における自動観測機器としては自動水質観測装置(東亜電波工業製 WQ-52T) が使用されている。地下水の水温・電気伝導率・pH が計測される。上記観測データは6打点記録計によってモニター記録され 30日巻きチャートに打ち出され地質調査所に郵送される(第4表)。

ラドン観測井における自動観測機器としては 水中ラドン連続測定器(アロカ製 NW-101R) が使用されている。地下水中のラドンガスの α 線量は ZnS (Ag) シンチレーション検出器によって検出されると同時に 水温・流量も計測される。上記観測データは6打点記録計によってモニター記録され 30日巻きチャートに打ち出され地質調査所に郵送される(第4表)。

4. 観測データのテレメータシステム

4-1 地下水変動監視システムのハードウェア

- (1) データ収集系
- (2) データ集録・処理系
- (3) データ転送系

(1) データ収集系は安立電気製のテレメタリングシステムを用い A回線は清水(水位・水質・ラドン) 静岡(水位) 相良(水位) の4井 B回線は新居・袋井・静岡・蒲原・富士宮のラドン5井 C回線は大東(水位・ラドン) 浜岡(水位・ラドン) 榛原(水位) の3井の観測データを収集する。それぞれのデータはインタフェイスにて4~20mAの信号に変換され 子局装置(安立電気製H-300) を使用し 電信電話公社の3本の専用回線を使用して地質調査所の親局装置(H-100) で伝送している(第4図)。

(2) データ集録・処理系は三菱電機製のミニコンピューターシステムを用い (1)で収集したデータの処理・解析を迅速・高能率で行う。また各観測データをモニターするためグラフィックディスプレイが付加されている。12の観測井から15成分(ラドン8・水位6・水質1)の観測データを10分間隔で収録し1か月分を1,200フィートの磁気テープ1本にファイルしている。

(3) データ転送系は 気象庁に設置した親局装置(H-100) および6打点記録計と地質調査所の子局装置(H-300) からなる。データ集録・処理系で処理した観測データをリアルタイム・テレメータ伝送するシステムは昭和53年12月に完成した。これにより気象庁において常時リアルタイムで地下水データを監督する体制が整った。このほか地質調査所でファイルされた観測データは1週間毎にXYプロッターにより図化出力し 解析結果についてのコメントとともに 高速ファクシミリ(松下電送機製 UF20S)にて気象庁に伝送している。なお高速ファクシミリは関係省庁との間のデータ情報の伝送も可能な体制になっている(第10・11図)。

4-2 データ解析に関するデータ集録・処理系のソフトウェア

同時に複数のプログラムで作動させることのできるマ

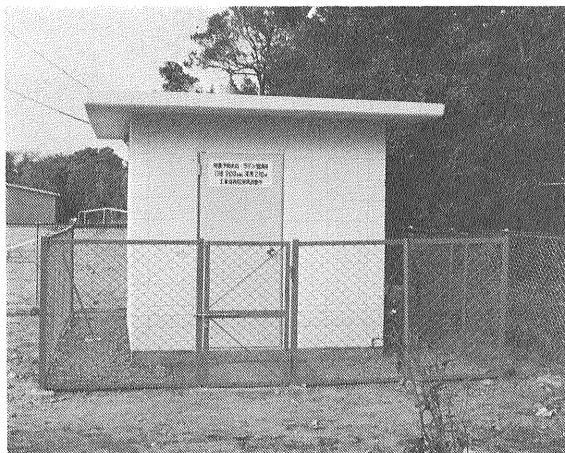


写真5 浜岡地区水位・ラドン観測井小屋

第4表

自 動 観 測 機 器 仕 様

品 名	型 式	仕 様
フロートレス水位発信器	I-504	測定範囲：0～10m 測定精度：±1cm 測定間隔3段切替(10sec 1min 5min) 電源：DC 12V
雨量計感部	B-020	測定範囲：0～100mm 測定精度：±0.5% 口径：200mm 電源：AC 100V 1転倒降雨量：1mm
水温計感部	E-741	測定範囲：5～25°C 測定精度：±0.3°C 耐水圧：10 kg/cm ²
湿度計感部	G-301	測定範囲：0～100% 測定精度：±5%
気圧計	F-401	測定範囲：930～1050 mb
水位変換器	M-734	測定範囲：0～10m 精度：±0.5% 変換方式：ポテンショメータ
雨量変換器	M-728	測定範囲：0～100mm 精度：±0.5% 変換方式：パルス電圧方式
湿度変換器	M-727	測定範囲：0～100% 精度：±0.5% 変換方式：差動トランス 変位量—電圧変換方式
ITE mV 温度変換器	M-5351	直流mV信号又は測温低抗体の抵抗値変化信号を 4～20mADCに出力信号に変換する 精度：±0.5%
電子自動平衡記録計		記録点数：6打点 記録方式：色別打点式 打点間隔：6sec (50 Hz) 記録紙：25 mm/h 30日 チャートスピード：3段切替(12.5 25 50mm/h)
変換ユニットケース	M-720	容量：DC 5V 1A 電源 AC 100V ± 10V 50/60 Hz
水質自動観測装置	WO-52T	pH測定 測定範囲：pH 2～12 精度：0.05% 温度測定 測定範囲：0～50°C 精度±0.5% 電気伝導率測定 測定範囲：0～50 μs/cm 精度：5% 記録計 精度：±0.5% 記録点数：6打点 チャートスピード：2段(12.5 25mm/h)
水中ラドン連続測定装置	NW101R	検出部 シンチレータ：ZnS (Ag) シンチレータ面積 200φmm 流量可変範囲：0.5～5 l/min 温度測定範囲：5～30°C 計測部 指示計：0～1000 0～300 count/min 0～1500 V 指示精度：±3% 記録計：EM-800-06 (6打点式) 内容：計数率 (c/min) 水温 (°C) チェック時間と曜日 流量 (l/min) テレメータ用インターフェイス 入力：ラドン信号 流量信号 温度信号 出力：ラドン精度 4～20mA 流量信号 4～20mA 温度 4～20 mA

ルチプログラム用オペレーションシステム（三菱メルコム 70/25 オペレーティングシステム）を用いリアルタイム処理に併行してバッチ処理が行えるようにした。

主記憶装置はフォアグラウンド領域とバックグラウンド領域に分割し前者でリアルタイム処理後者でバッチ処理を行うことにした。

フォアグラウンド領域ではテレメータからのデータ受入れマスターファイルの作成気象庁へのデータ出力等のリアルタイム処理が可能である。バックグラウンド領域では各種のデータ解析（水位と雨量・気圧・潮汐との関係等）データのXYプロッターによる図化出力等のバッチ処理が可能である。

5. 観測データの解析

水位・水質・ラドンの観測データには自然的要因および人為的要因が含まれる。これらのデータから地震の前兆現象である地殻変動による変化のみを抽出して予知情報とするには上述の要因についての詳細な検討が不可欠である。これらの要因は観測井の位置および周辺の条件によつて差異がある。このため各観測井に

ついてそれぞれ固有の特性について詳細な検討を行っている。現在までのところいくつかの観測井について若干のデータが得られている。

5-1 気圧の影響

気圧の変化は自由面地下水の水面には影響ないが被圧地下水の水圧には影響をおよぼす。気圧と水圧との関係は気圧が高くなると水圧が低下し気圧が低くなると水圧が上昇する。気圧の変動とそれに対応する水圧変動との割合は帯水層の気圧効率と呼ばれその値は20~75%の範囲にある（村下 1976）。

被圧地下水中にストレナーがある水位観測井のうち大東観測井における気圧と水位との関係は第12図に一例を示したように相関係数0.91 勾配-0.67cm/mbでほぼ一直線上に並ぶ。また榛原観測井における気圧と水位との関係も第13図に一例を示したように相関係数0.91 勾配-0.94cm/mbでほぼ一直線上に並ぶが地下水位が高くなるとその勾配は小さくなる。しかしながら清水・相良・浜岡の観測井では他の要因（雨量・潮汐・揚水）の影響の方が大きくて気圧と水位の関係は



写真6
テレメータ
親局装置

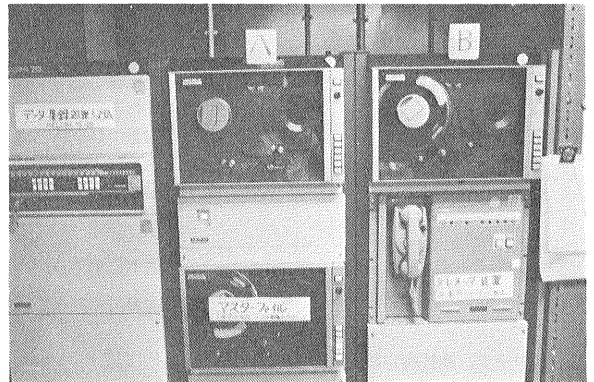


写真7 左よりデータ集録・処理システム マスターファイル テレメータ子局装置



写真8 グラフィックディスプレイ

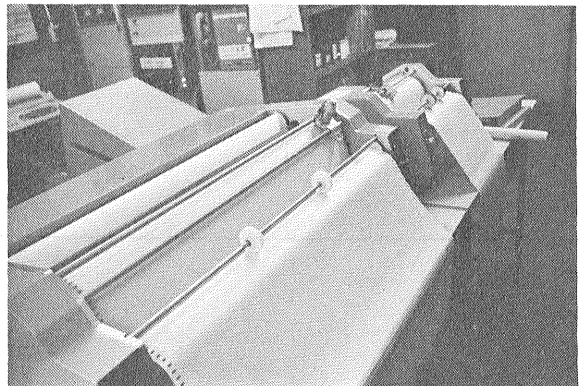
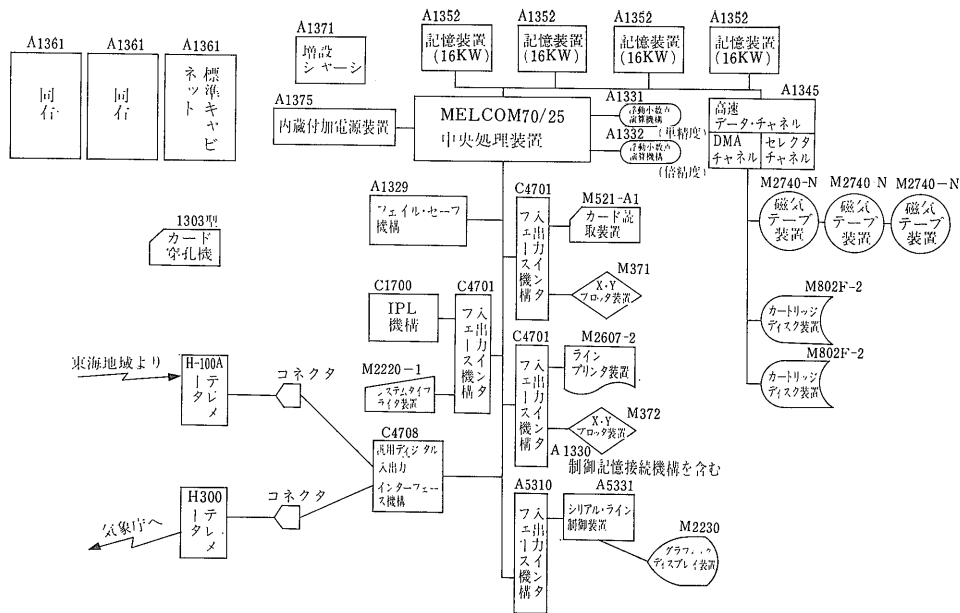


写真9 X Y プロッター



第10図
ハードウェア構成図

明らかでない。

5-2 潮汐の影響

海岸あるいは河川に近接する井戸では 潮汐の干満・河川水位の変動に応じて水位は日変動する。この変動は内陸に向って減少し ある距離以上離れると影響をうけなくなる (村下 1976)。

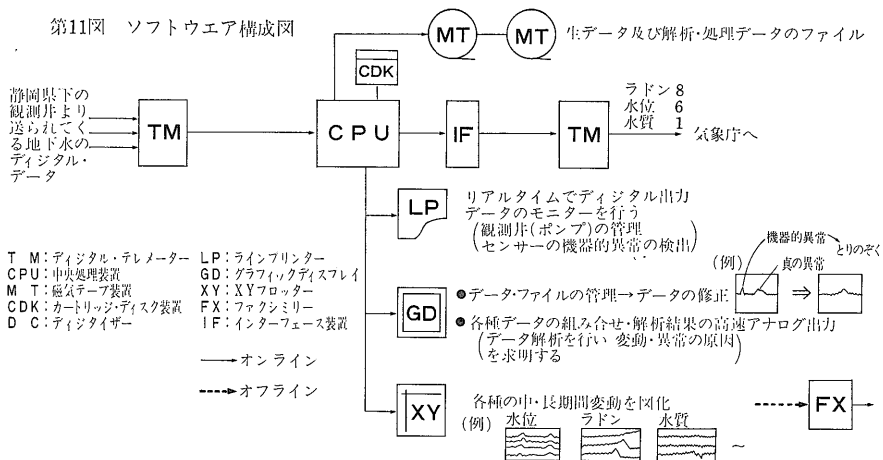
直線距離で海岸から 450mにある相良観測井では 水位が潮汐の影響をうけ第14図に示したように変動している。潮位変動は清水検潮所の潮位データを使用し 45分シフトして潮汐の影響を除いた水位(A-B)を示した。この補正後の水位の変動は近接している製氷工場の揚水

による影響で 1月1日および3日は揚水しないため変動が少なく また最低水位が工場終業の17時30分~18時に現われていることから明らかである。なおこの製氷工場は4月より揚水を停止したためこの影響はなくなった。

5-3 降水の影響

地下水は自然的には降水・河川水から 人為的には灌漑用水によって養われる。地下水は 一時的に降雨が多い時 豊水期と渇水期 あるいは豊水年と渇水年等に応じて それぞれ変動する。このような水位の変動は自由面地下水・被圧地下水を問わず起こっている (村下

第11図 ソフトウェア構成図



- T M: デジタル・テレメーター
- CPU: 中央処理装置
- M T: 磁気テープ装置
- CDK: カートリッジディスク装置
- D C: デジタイザー

- LP: ラインプリンター
- GD: グラフィックディスプレイ
- XY: XYプロッター
- FX: ファクシミリ
- IF: インターフェース装置

→ オンライン
--- オフライン

生データ及び解析・処理データのファイル

ラドン 8
水位 6
水質 1
気象庁へ

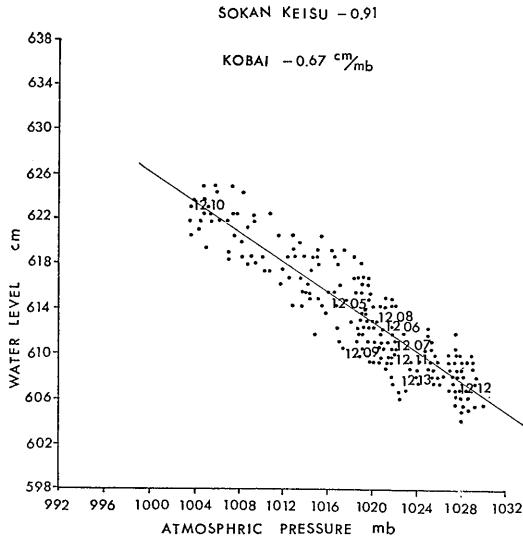
リアルタイムでデジタル出力データのモニターを行う (観測井(ポンプ)の管理 (センサーの機器的異常の検出))

●データ・ファイルの管理→データの修正

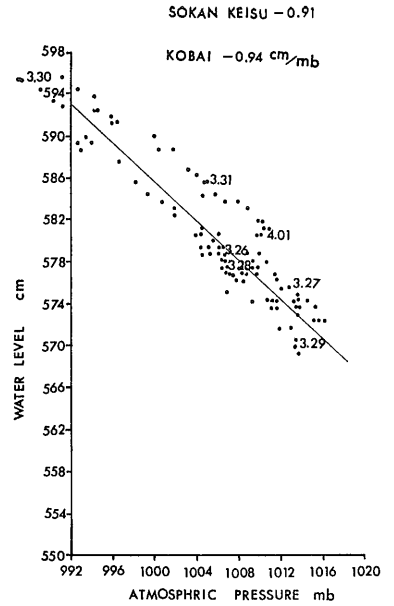
●各種データの組合せ・解析結果の高速アナログ出力 (データ解析を行い 変動・異常の原因) を求める

各種の中・長期間変動を円化 (例) 水位 ラドン 水質

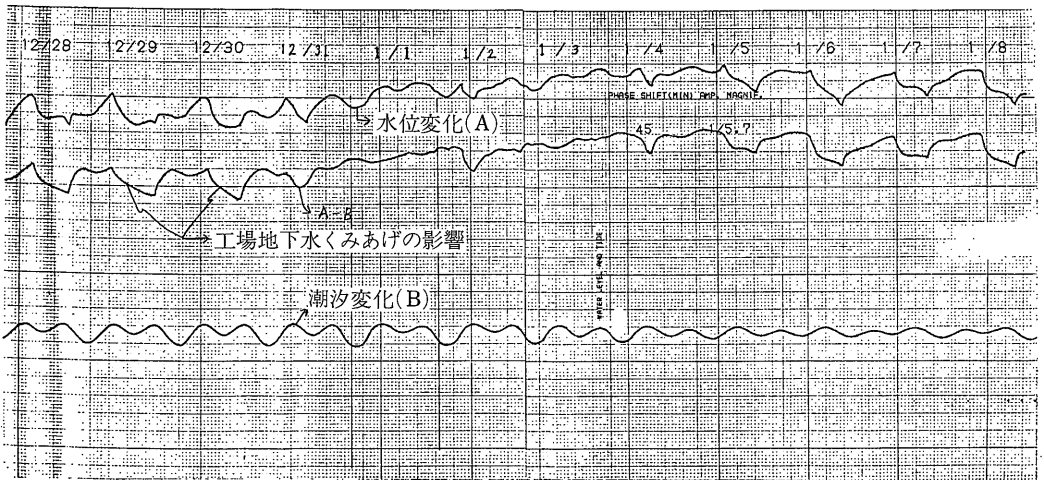
機器的異常 真の異常



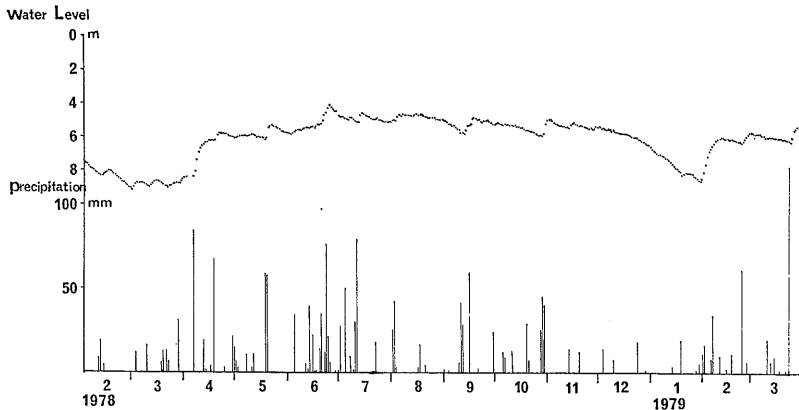
第12図 大東観測井の水位に対する気圧の関係図



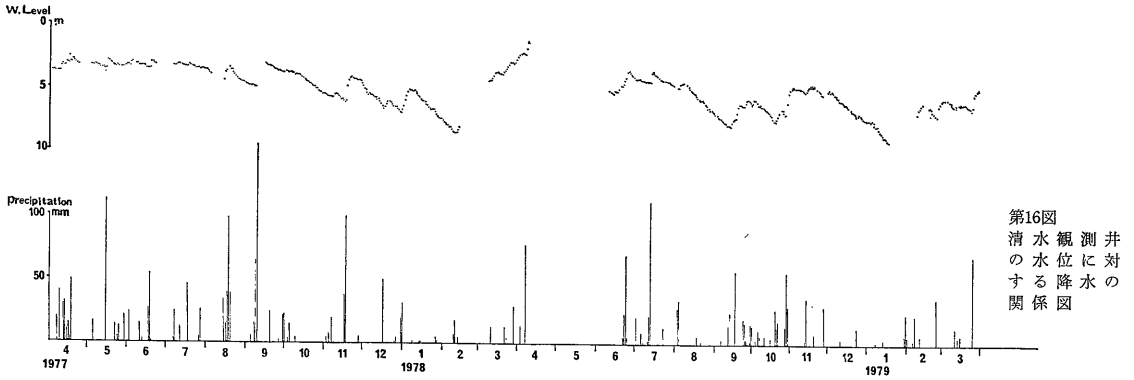
第13図
榛原観測井
の水位に対
する気圧の
関係図



第14図 相良観測井の水位
に対する潮汐およ
び揚水の関係図



第15図
賤機観測井の水
位に対する降水
の関係図



第16図
清水観測井
の水位に対
する降水の
関係図

1976).

自由面地下水中にストレーナーがある賤機水位観測井被圧地下水中にストレーナーがあるがその深度が極めて浅い清水水位観測井では 降水は水位の変動に大きな影響を与えている(第15・16図)。

また 清水水位観測井と水質・ラドン観測井における水位と電気伝導率の変動は極めて良い相関を示している(第17図)。このことは水位が低下すると難帯水層を通じての自由面地下水からの漏水による補給が少なくなるとを暗示している。

6. おわりに

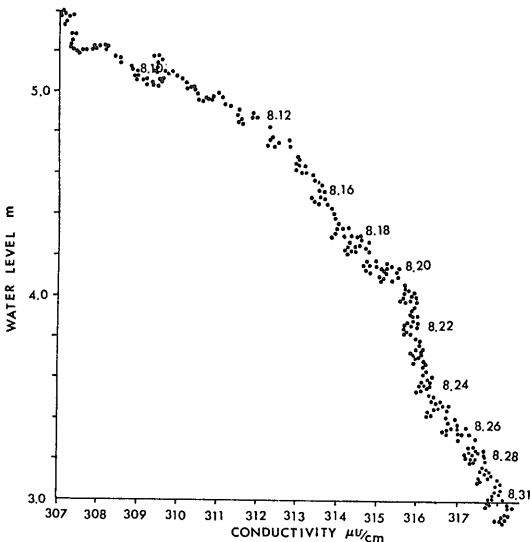
本観測システムはわが国において 始めて 東海地方東部地域で試みられ 昭和51年度から3か年計画で開始され 昭和53年度末に一応完成した。しかしながら 現在までの観測データを検討すると 停電・自動観測お

よびテレメーター機器類の故障・ラドン連続測定器の流入量およびポンプの揚水量の変化によるラドン濃度の変化等による 観測の中断・異常観測値がみられる。テレメーター機器類の故障と地質調査所の停電による欠測は郵送されるモニター記録によつて後日補正されているが将来安定しかつ良質なデータを得るため これら機器類の保守・管理・点検・機器の改善等 検討する問題が残されている。

さらに 今後観測データを蓄積し 各観測井の個有な特性を正確に把握し 地殻変動による異常の効率的な抽出について研究を進め 地震予知の有効な手段としての地下水観測とシステムを確立することに努めたい。

参 考 文 献

- 井野盛夫・池田喜代(1977)：静岡県ラドン観測予定井のラドンの測定結果についての報告 静岡県
- 石橋克彦(1976)：東海地方に予想される大地震の再検討 地震学会講演予稿集
- 垣見俊弘(1978)：地下水に関する調査研究浅田敏(編)地震予知の反省と展望 学術月報 Vol. 31 No. 7
- 加藤完・衣笠善博・村下敏夫・垣見俊弘・池田喜代治(1977)：静岡県清水市における地震予知のための水位および水質観測井の設置について 地質ニュース 279
- 加藤完・佃栄吉・村下敏夫・池田喜代治・井野盛夫(1979)：東海地域における地震予知のための地下水観測井の増設について 地質ニュース 294
- 建設省国土地理院(1978)：地震とその予知
- 静岡県(1974)：静岡県の地質および地質図
- 村下敏夫(1976)：「改著地下水学要論」 昭晃堂
- 力武常次(1976)：「地震予知論入門」 共立全書



第17図 清水観測井の水位に対する電気伝導率の関係図