

## 埋込式体積歪計による観測(1)\*

1976年～1986年の観測経過

二瓶 信一\*\*・上垣内 修\*\*・佐藤 馨\*\*

### § 1. はじめに

気象庁では、地震の前兆現象を捉えることを主な目的として、東海・南関東地域の31地点で埋込式体積歪計(以下、歪計)による地殻変動の連続観測(以下、歪観測)を行なっている。観測は1976年に5地点で始まり、1981年までに歪計31地点、気圧計2地点、地下水温計1地点を整備した。更に1984年から気圧計15地点、水位・水温計1地点を追加し、歪計周辺の観測要素の観測を行なっている。データはすべてリアルタイムで気象庁にテレメータし、集中監視と処理を行なっている。

歪観測は1976年から10年あまりを経過したが、地殻変動の時間スケールを考えれば、10年間のデータの蓄積では経験的な知識もまだ十分ではない。しかし観測経過に従い興味深い現象も得られた。また多くは歪計周辺の環境要素に起因するものであることが判ってきた。これらの現象は歪観測に限らず地殻変動観測一般に共通するものも多い。本報告及び別報告(投稿準備中)では、観測システムと10年間の観測結果の概要を述べると共に、観測経験から明らかにされたこと、及び種々の問題となった点について述べる。また、歪観測データの調査・解析・データ処理に必要な事項についてもとりまとめた。

なお歪観測は、1978年に制定された「大規模地震対策特別措置法」に基づき、気象庁長官の私的諮問機関として「地震防災対策強化地域判定会(以下、判定会)」が設置されるに当たり、判定会開催のための招集要請基準の観測項目として取扱われることになった。

### § 2. 観測システム

#### 2.1 観測網

歪観測は1976年4月から東海地域の5地点(伊良

湖・三ヶ日・御前崎・静岡・石廊崎)で開始され、翌1977年4月から隣接の南関東地域の5地点(網代・横須賀・館山・勝浦・銚子)にも拡げられた。同年7月から御前崎との比較観測を目的として、浜岡(御前崎との距離7km)、榛原(同20km)が開設された。その後も、既設地点の間を補う配置で20～30km観測網となるよう、1980年7月から東海地域の8地点(蒲郡・天竜・川根・藤枝・清水・富士・土肥・東伊豆)と、1981年5月から南関東地域11地点(湯河原・秦野・三浦・横浜・日野・富津・鴨川・大多喜・長柄・八日市場・大島)を増設し、合計31地点で同質・同性能の測器による歪観測が行なわれている(椛皮他1983, 末広1985, Furuya et al, 1986)。

図2-1に観測地点の配置を、表2-1に地点の状況を示す。地点毎の地質柱状図を付図1に示す。

1976年整備の観測井のボーリングは岩盤に達する深さまで行われた。このうち、50～60mの浅い地点では降水や人為的な地下水利用による影響が大きい。

一方、沖積層が厚い房総地域では、300mの深さでも岩盤に達しないが、このような深さになると地表付近の降水や地下水に伴う諸現象の影響が地下深部に達するまでにかなりの時間遅れがあり、その結果歪計は複雑な応答をすることが判った。1977年以降に整備の観測井については100～300mの深さになっている。

2.2(d)で述べるように観測井は裸孔型とフルホール型(F)に大別され(図2-6参照)、それらを表2.1に示す。裸孔型も付近の帯水層に合せたものではないため地下水観測に必ずしも適切でない。また地中変換部埋設後、変換部の上部を覆う目的でセメントミルクを注入したが、覆いが不完全で観測井内の水位変化が歪計に直接影響する地点がある(横須賀、伊良湖)。更にこの注入で観測井内が詰まり、その後

\* Shinichi Nihei, Osamu Kamigaichi and Kaoru Sato: On the Observation of Volume Strainmeter, based on the data of 1976 to 1986. (part 1) (Received Jan. 17, 1987)

\*\* 地震火山部地震予知情報課

表2-1 観測地点表

地点名	緯度	経度	標高	埋設年月	設置深度	岩質	観測井	観測開始	受信システム系と回線系	SP成分	気圧データとりこみ	水位(WL)地中温度(T)	無人	判定会対象地点
伊良湖	34° 38'	137° 05'	6 <sup>m</sup>	昭和1975. 9	141 <sup>m</sup>	黒色片岩	裸孔	1976. 4	I - 1	1986. 7*	1984. 5		夜間閉鎖	○
三ヶ日	34° 48'	137° 33'	15	" 10	51	粘板岩	裸孔	"	I - 1	B <sub>m</sub>	"		無人	○
御前崎	34° 36'	138° 13'	45	" 11	208	泥岩	裸孔	"	I - 1	B <sub>m</sub>	"			○
静岡	34° 58'	138° 24'	14	" 11	60	砂岩	裸孔	"	I - 1	B <sub>m</sub>	"	WL.T1984.5		○
石廊崎	34° 36'	138° 51'	55	1976. 2	133	安山・角礫岩	裸孔	"	I - 1	1985. 2	"			○
網代	35° 03'	139° 06'	59	" 9	120	玄武・溶岩	裸孔	1977. 4	II - 1	1981. 4				○
横須賀	35° 15'	139° 43'	25	" 9	146	泥岩	裸孔	"	II - 1	1985. 7			無人	
館山	34° 59'	139° 52'	6	" 8	190	泥岩	裸孔	"	II - 2	B <sub>m</sub>				
勝浦	35° 09'	140° 19'	12	" 9	180	泥岩	裸孔	"	II - 2	1984. 4				
銚子	35° 42'	140° 51'	69	" 12	100	砂岩	裸孔	"	II - 2	1979. 6			無人	
浜岡	34° 38'	138° 11'	35	1977. 2	250	泥岩	裸孔	1977. 5	→III-6	1977. 10	1984. 7		無人	○
榛原	34° 47'	138° 12'	50	" 2	250	泥岩	裸孔	"	→III-6	1985. 7	1981. 5		無人	○
蒲郡	34° 50'	137° 15'	38	1979. 12	100	花崗閃緑岩	裸孔	1980. 7	III - 1		1984. 7			○
天竜	34° 54'	137° 53'	160	" 12	149	粘板岩	裸孔	"	III - 2		"		無人	○
川根	34° 56'	138° 05'	170	" 11	101	粘板岩	裸孔	"	III - 1		"		"	○
藤枝	34° 54'	138° 14'	50	" 12	101	礫岩	裸孔	"	III - 3		"		"	○
清水	35° 06'	138° 31'	60	" 10	125	泥岩	F	"	III - 1		"		"	○
富士	35° 11'	138° 44'	210	1980. 2	92	凝灰角礫岩	F	"	III - 2		"		"	○
土肥	34° 52'	138° 46'	100	" 2	152	凝灰岩	F	"	III - 3		"		"	○
東伊豆	34° 49'	139° 03'	140	" 1	251	安山岩	裸孔	"	III - 1		"		"	○
湯河原	35° 10'	139° 06'	187	" 2	150	火山礫凝灰岩	裸孔	1981. 5	III - 2				"	○
秦野	35° 24'	139° 12'	206	1979. 11	148	固結砂礫	F	"	III - 3				"	
三浦	35° 09'	139° 39'	53	" 10	150	砂岩	F	"	III - 2				"	
横浜	35° 32'	139° 33'	70	" 10	203	泥岩	F	"	III - 3				"	
日野	35° 39'	139° 25'	140	1980. 2	148	固結細砂	F	"	III - 5				"	
鴨川	35° 07'	140° 05'	30	1981. 1	150	泥岩	F	"	III - 4				"	
富津	35° 13'	139° 54'	20	1980. 12	150	泥岩	F	"	III - 5		1981. 5		"	
大多喜	35° 14'	140° 14'	100	" 12	250	泥岩	F	"	III - 4				"	
長柄	35° 25'	140° 12'	50	" 10	250	細粒砂岩	F	"	III - 4				"	
八日市場	35° 45'	140° 32'	55	" 11	300	泥岩	F	"	III - 4		1985. 4		"	
大島	35° 46'	139° 23'	185	1981. 4	291	火山礫凝灰岩	F	"	III - 5		1986. 12	T. 1981. 5		

F：フルホール型

\* SPセンサー置換年月日（無印は設置時からLP成分より変換したSP）

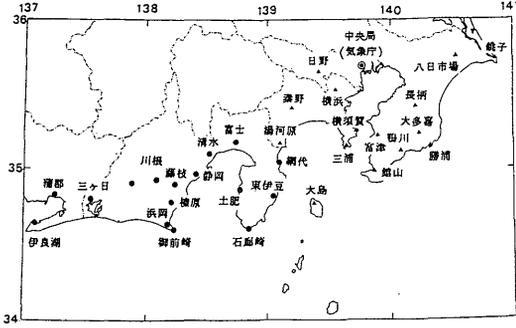


図2-1 埋込式体積歪計の配置図 註) なお●は判定会招集要請の対象とする地点

(b) 地中変換部の原理

図2-3は地中変換部の模式図である。密封された円筒容器(受感部S)の上部に伸縮自由なベローズ(B)が設けてあり、それらの内部はシリコン油(SO)で満たされている。今、S部が周囲の力によって押されると、S部の収縮による容積の減少に見合うシリコン油がB部に流入し、Bの上部は $\Delta x$ だけ持ち上がる。この際B部の有効面積が小さいほど増幅度は大きい。すなわち、S部で捉える微小な体積変化を、B部の変位という測定しやすい一次元の量に機械的に変換・増幅している。

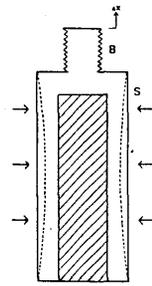


図2-3 地中変換部の模式図

の計器の挿入に支障がある地点がある(三浦・大島・鴨川・八日市場)。

観測井のいくつかは開口部から雨水が流入するものや、人為的に荒らされた形跡がある。一方、7地点では開口部をモルタルや溶接で封じているが、新たな環境要素の観測を行なう場合は障害となるため、開口部の整備は重要である。

付図1に観測井の構造も併せて示す。

(c) 地中変換部

図2-4に示すように地中変換部は、外径114mm、肉厚3mm、長さ約4mのステンレス製(SUS-316)の耐圧耐真空の円筒である。内部の上方には厚さ約5cmの隔壁があり、上室Aと下室Sに分けられている。S部は真空蒸溜されたシリコン油SO(SH200)で満たされ、隔壁に設けられた隘路Rを通じてA側に袋状に突出しているベローズB(SUS-321又はニッケル、外径19mm、長さ76mm)につながっている。A部は初期状態で1気圧の不活性ガス(アルゴン)の気体空間G(約550cc、A部の約1/10の体積)とSOが充てんされている。B部を衝撃的な入力から守るため、Rはテーパネジ式のハイカットの流体フィルターの役目をし、そのカットオフ周期は1~5秒である。

(b)で述べたように、円筒容器全体が均一な体積変化を生じたとすると(実際には容器の形状から考えて、S部の方が大きく変形すると思われる)、A部の一部が気体で満たされている事によるS部とのみか

2.2 測器

(a) 概要

歪計は、地中に埋設した地中変換部と地上増幅制御装置(以下、地上観測装置)から構成されている。図2-2に示すように、地殻歪は地中変換部の差動変圧器を介して電気信号におきかえられ、地上観測装置で復調・増幅してとり出される(観測部地震課1979)。

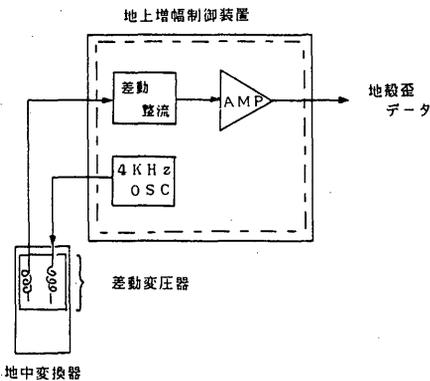


図2-2 埋込式体積歪計の構成

註) 判定会招集要請の対象となる地点は、観測網の西側、伊良湖から網代に至る16地点である。

けの圧縮率のちがいから圧力差を生ずる。その圧力差を解消するためS部のSOはRを通してB部に移動し、B部のバネ定数によって決まる位置で平衡に達する。B部の上端をおさえている板バネは磷青銅を使用している。1976-77年に整備のものは短周期成分のセンサーであるピエゾ素子（バイモフ、Bm）の弾性をそのまま利用している。板バネは中立の位置より上・下方向に約1～1.5mmの範囲で可動とする。整備年次により地中変換部の定数に多少の違いはあるが、可動量は歪変化 $\pm 10^{-5}$  strainに相当する。

さらに大きな歪変化を測定するために、隔壁にもう一つの開口部V（電磁バルブ）を設けてあり、Vを開くと板バネの復元力により、Bを変位させていた圧力差を解消するようSOが移動し、Bは中立の位置に戻る。この後Vを閉じれば測定は零位置から再出発するため、Vの開閉時の復元量を積算すれば観測開始以来の積算歪値が得られる。Vは電磁マグネタリング方式で、耐圧8.7kg/cm<sup>2</sup>以上、動作時間は1秒以内である。

ケーブルは外径21.4mmのテンションメンバー入りの多芯シールドケーブルで、絶縁とシースはポリエチレンを使用している。信号ケーブルの接続部は真空エポキシモールド・ハーメチック端子を用い、完全気密である。

また、歪計は岩盤内の歪変化に応じたBの上下変化を差動変圧器に4KHz、100mAの一定電流を供給することにより、電気的に取出すものであるが、歪量と電気的出力の関係を知るために地中変換部の隔壁直下にあるヒータH（抵抗値約3Ωのニクロム線）に一定時間既知の電流を流す。それによってS部のSO全体が熱膨脹すると仮定し、それから推定される歪量と取出された電圧値の変化とから、短時間の熱応答による両者の関係を得て、地中変換部の歪電圧感度としている。

#### (d) 埋 設

地中に直径約15cmの観測井を岩盤内に達するまで（現行は地表より50～300m）垂直に掘削する。この観測井の底部に地中変換部を埋設し、膨張剤を加えたモルタルを用いて周囲の岩盤と固着させることにより、地中変換部は地殻の伸び縮み変化に応答する。モルタルの配合比は、セメント（ポルトランド

セメント）1：砂（珪砂7号）1：水0.5で、これに膨張剤（アサノジブカル）7%、マイティ0.2%を添加してある。固結前のモルタルは極めて流動性に富み、比重は約2.5である。テストピースによる一軸圧縮強度試験ではおよそ400～500kg/cm<sup>2</sup>の強度であった。<sup>註)</sup>

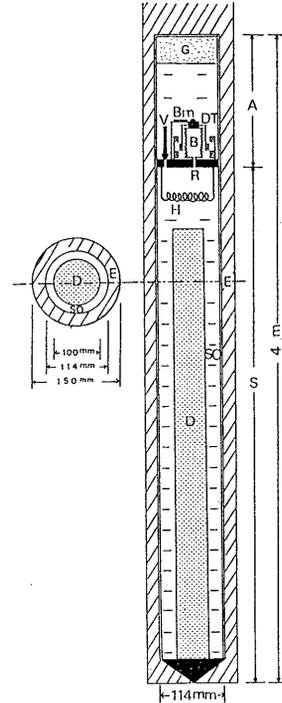


図2-4 地中変換部の概略図

A：測定部，S：受感部，SO：シリコン油，  
Bm・DT：電気的変換部，B：ベローズ，  
R：隘路，V：バルブ，H：検定用ヒータ，  
D：ダミーブロック，E：膨張セメント

観測井の構造は2つのタイプに大別される（図2-5）。主に地盤が固い観測点では、地表からある深さまではケーシングパイプが挿入されているが、その下部から地中変換部上部の数m～数10mは裸孔のまゝになっている（裸孔型）。

他方はケーシングパイプを地中変換部の直上まで挿入し、ケーシングパイプと観測井のすき間および裸孔部にセメントミルクを注入するフルホールセメントリングを施したものである（フルホール型）。こ

註) 1976年整備の5地点はカイザーセメントを使用した。後年、膨張の持続時間が短かく、強度の強いアサノジブカル混入の膨張セメントを使用した。

の方式では周囲の帯水層の水が裸孔部とケーシングパイプのすき間を通じて他の帯水層と流通し、観測井が掘られる前の地下水の状態を乱すことを防ぐものである。

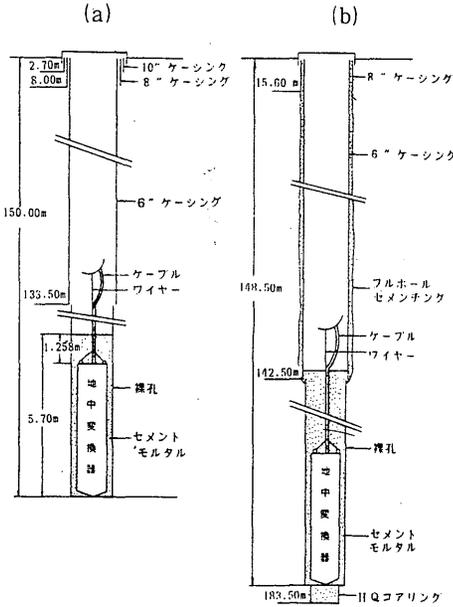


図2-5 観測井の構造  
(a) 裸孔型, (b) フルホール型(表2-1でF)

埋設に当っては、用意された観測井の底部に地中変換部が十分埋没する量の上記配合のモルタルを、特殊ベイヤラーを用いて観測井内の水と混じらぬよう静かに沈積させる。その中へ地中変換部を吊下す。地中変換部には図2-4のDに示されるステンレス製のダミー重錘が内蔵されていて、地中変換部全体の比重は約5.0となり、モルタルの固化が始まる前に自重で着底できる。

このようにして埋設された地中変換部とモルタル間、およびモルタルと周囲の岩盤の間は、主としてモルタルの膨張と静水圧およびステンレス円筒のそれに抗する反発力のつり合いによって、カップリングが成立していると考えられる。従って、地中変換部は地上においては、円筒状であるが、埋設による初期応力をうけて中央部がやゝ窪んだ臼型に変形している(図2-3の点線)と推定される。

(e) 地上増幅制御装置(地上観測装置)

この装置は測定部と制御部から成る。

測定部は、地中変換部の差動変圧器に一定電流を

供給し、地中変換部からとり出した電気信号を復調して、ベローズの伸縮量に比例した電圧値を出力する。これを約10倍に増幅して周期無限大までのフラットな周波数特性を持つ歪長周期(LP)成分とする。さらにその電圧にカットオフ周期約2時間の1次ハイパスフィルタを通し、50~100倍に増幅した出力成分がある。これを歪短周期(SP)成分とし、秒単位から数時間までの短周期変化の高感度観測に使用している。図2-6にLP, SPのブロック図、図2-7に両成分の感度特性を示す。サンプリングによるエリアシングを防ぐために、周期の短い方ではフィルタによって振幅特性を落している。1976, 1977年に整備した12地点では、地中変換部にセラミックの圧電素子パイモフ(Bm)を使用しSP成分としていたが、ヒステリシスが大きいことや雷災や経年変化による劣化のため、順次上記の電気的変換方式に代替した。測定部は約60±5℃の恒温槽内で動作している。

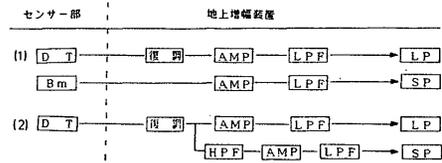


図2-6 歪長周期(LP)成分と歪短周期(SP)成分の構成

- (1) 短周期成分にBmを使用したもの
- (2) 短周期成分をLP成分から電気的に変換したもの

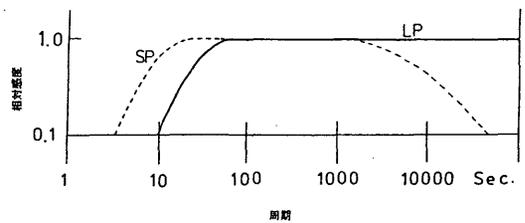


図2-7 埋込式体積歪計の感度特性  
LP: 歪長周期成分, SP: 歪短周期成分

制御部は、(c)で述べたバルブ制御器と感度検定制御器で構成されている。バルブ制御は①現地で作るもの、②ベローズの伸縮が一定限界に達するとあらかじめセットされたタイムシーケンスに従って自動的にバルブを制御するもの、1980・1981年整備の地点については③気象庁(中央局)からの制御信

号により、自動バルブ開閉装置を起動させる遠隔操作によるものの3種がある。従来の自動動作は30分を要し、その間は観測データが得られないため、後年欠測期間を少なくし、短時間内に急激で大きな歪変化が発生した場合地中変換部の破損を防ぐため、自動起動到達検出時間を5秒、起動から完了までを2分間に短縮するよう一部地点を改造した。図2-8にタイムシーケンスの1例を示す。

感度検定制御器は(c)で述べたように地中変換部のヒータに一定電流を一定時間供給する較正・タイマー制御器である。

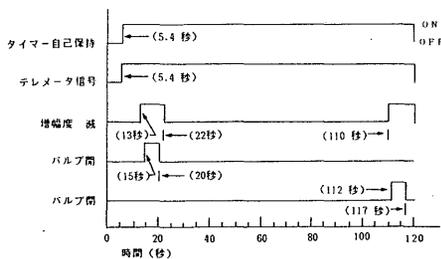


図2-8 バルブ開閉のタイムチャート

#### (f) 測定

(c)で述べたように現在の歪計の感度は、地中変換部内におけるシリコンオイルの短時間の熱応答をもって決めている。しかし真に必要な事は、歪計が埋設された状態で周囲の岩盤の本来の歪変化にどの程度正確に応答するかということである。

体積歪計が測定する量は、地中変換部の形状から考えて厳密には体積歪とも面積歪とも一致しない。しかし、①水平面内の変換部への法線応力により敏感に応答するであろうこと、②自由表面付近では平面歪と体積歪は線型の関係にあると考えてよいことから、体積歪あるいは面積歪には、比例した測定量を得ていることになる。ただし、観測井の存在による応力集中のため、観測井から充分離れた所での値に比べ増幅された量を観測している場合もある。また、周辺媒質と地中変換部の弾性率の違いも観測量に大いにきいてこよう。これらについては、有限要素法を用いたシミュレーションや、観測値と理論応答の比較などによって検証され(古屋1982、吉川1986 a, b)、また観測地点周辺の地質状況や、観測された諸現象とも定性的に矛盾しない。

気象研究所では、火山用体積歪計を用いて静水圧の変化による歪変化を測定し、電圧感度で、 $5.5 \times 10^{-9}$  strain/mbを得た(田中他、1984)。気象庁の

歪計の地中に埋設された状態での気圧応答係数は、周辺媒質のポアソン比が0.5に近いと推定される地点で、電圧感度で約 $2 \times 10^{-8}$  strain/mbである。火山用歪計は原理・材質・円筒の肉厚などは気象庁歪計と同一であるが、内径1/2、長さ1/3と小型である。(b)で説明したように、受感部の大きさの違いが感度の差をもたらしたものとみなせる。

(c)で述べたように、歪計は初期変形をうけているため、埋設後の観測は初期変形を起点として縮みに対してはステンレス円筒が座屈をおこすまで(シミュレーションにより、約80気圧と推定されている)、伸びに対しては初期変形の復元の範囲でのみ測定可能であり、復元の範囲内でも円筒とモルタル間の剥離が発生することも考えられる。局所的に大きな力が加わった時のステンレス円筒の座屈は一樣な圧縮の場合よりも小さな応力で発生すると予測され、また初期変形の状況も埋設条件で地点によって様々であろうことが推察される。

理想的に埋設されたものと仮定して、応答の直線性も考慮すれば、歪計の測定上限は $10^{-4}$  strainの数倍程度と想定される。

測定の分解能は2.3に述べる伝送システムのA/D変換器の性能によって規定される。現在LP成分では $10^{-10}$  strain、SP成分では $10^{-12}$  strainまでの分解能があるが、微小現象や地震に伴う歪変化を詳細に調べるためには、LP成分についてもさらに高い分解能と精度が必要である。

## 2.3 伝送システム

### (a) 概要

図2-9に歪観測システムの観測地点における標準的な測器の構成と送信装置、および本庁(中央局)の受信システムを示す(観測部地震課、1979)。伝送システムは整備年によってI、II、IIIシステムに分れ独立して動作しているため、1システムに障害が発生しても他のシステムに波及しないが、逆にシステム相互の連携はできない。表2-2に3システムの構成内容を示す。

各地点と中央局間は専用の電話回線(D1規格、4線式全2重方式、分岐形式)により、秒単位で常時データを伝送している。全地点は11本の回線系に分散し、ある回線系が伝送障害になってもその地域のデータがまとめて欠落することのないように構成されている。中央局の3システムは個々に秒単位で各回線系に呼出し(ポーリング)信号を出力し、各地

表 2-2 観測システム構成表

システム	運用開始	中央局(気象庁)整備内容	観測地点	観測地点の整備内容
I	1976.4	中央処理装置 16Kワード 入出力制御装置 1 磁気テープ装置(800BPI) 1 タイプライタ 1 記録計(6打点) 2 回線 1	伊良湖, 三ヶ日, 御前崎 静岡, 石廊崎 計5地点	歪LP成分, 歪SP成分, 伝送装置, モニター記録計 } (**)
	1984.5	メモリー増設(合計 32Kワード) JJY時計 1 記録計(6打点, 12打点) 2		
II	1977.4	(*)に同じ 回線 2	網代, 横須賀, 館山, 勝浦, 銚子 計5地点	(**)に同じ
III	1980.7	中央処理装置 64KB 入力制御装置 1 磁気テープ装置 (800/1600BPI) 2 タイプライタ装置 2 記録計(6打点) 4 回線 3	蒲郡, 天竜, 川根, 藤枝, 清水, 富士, 土肥, 東伊豆 計8地点 湯河原, 秦野, 横浜, 日野, 三浦 計5地点	(**)に同じ  (**)に同じ (但し, 伝送装置は1981.5)
	1981.5	入出力制御装置 1 記録計(6打点) 7	富津, 鴨川, 大多喜, 長柄, 八日市場, 大島, 浜岡, 榛原 計8地点	(**)に同じ 気圧計(榛原・富津) 温度計(大島)
	1984.7	メモリー増設(合計 256KB) 磁気ディスク 60MB 記録計(6打点) 5		気圧計(蒲郡, 天竜, 川根, 藤枝, 清水, 富士, 土肥, 東伊 豆, 浜岡, 八日市場)

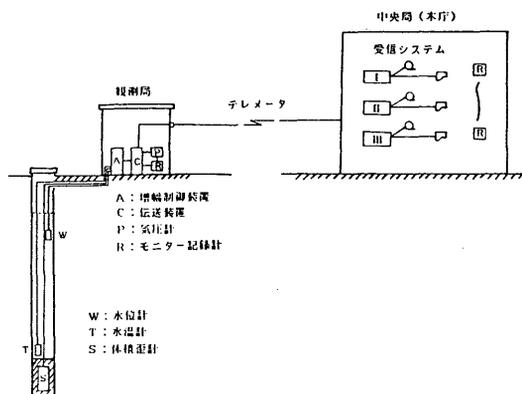


図 2-9 埋込式体積歪計観測システム構成図

点では自局が呼出しを受けたと判断すると、データをAD変換し、伝送フォーマットに組立てて中央局へ送り出す。送信データにはデータの状況や機器の監視を行なうコントロール信号(SV情報)が付加され、受信システムではシステムの保守管理や、バルブ開閉動作時のオフセット処理、停電-復電処理等を行なう。

#### (b) 送信装置

IIIシステムでは遠隔操作機能として、バルブ開閉操作、観測装置の電源切・入を観測装置側に伝達する機能や回線系のテスト機能、データ伝送を中断して通話する電話機能を持つ。同様の電話機能はその後、ほとんど全地点に取付けた。ある地点で通話に切替えた場合、同一回線系のすべての地点のデータ

表3-1 磁気テープ収録表

システム名	期 間	1レコード 中 の バイト数	フ ォ ー マ ッ ト	収録サンプリング間隔(秒)							週間当り データ量
				SP	LP	SV	気圧	水位	水温	基準	
I-1	1976.4 ~ 1984.5	1084	A4, 360A3	1	5	1	-	-	-	-	11MB
II	1977.4 ~ 現在										
I-2	1984.5 ~ 現在	768	6A2, 116X, 5(A1, 30A1, 45A2, 7X)	2	10	2	10	60	60	60	7MB
III-1	1980.7 ~ 1981.4	1020	A4, 8(A1, 42(A1, A2), 18X)	2	10	2	10	-	10	-	10MB
III-2	1981.5 ~ 1984.7	2671	A4, 21(A1, 42(A1, A21))	2	10	2	10	-	10	-	27MB
III-3	1984.7 ~ 現在	2816	5A2, 116X, 21(A2, 30A1, 42A2, 12X)	2	10	2	10	-	10	-	28MB

システム名は付図2に対応。

も伝送されなくなる。

表3-1に示す通り伝送データの要素数は、I、IIシステムはLP、SP成分の歪2要素のみ、IIIシステムでは歪2成分の他に気圧などの環境要素1要素が伝送できる。Iシステムに属する5地点については、1984年の改造により歪2成分の他にサンプリング間隔は粗いが気圧・水位・水温などの環境要素データを伝送するため合計6要素になった。

IIIシステムでは、伝送エラーを避ける目的でAD変換の後に図2-10のようなハイカットのソフトフィルターが組込まれていて、地震波や短周期現象の解析に支障があった。1986年1月にこれを撤去し、I、IIシステムと同質のデータが得られることになった。

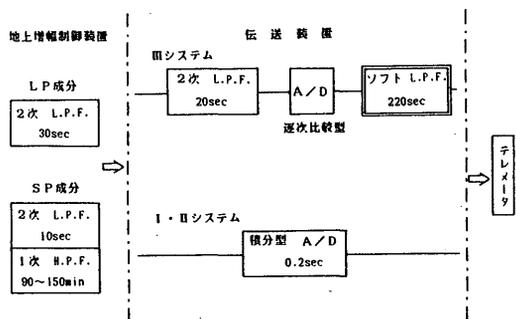


図2-10 歪観測システムのフィルタ構成

IIIシステムの二重枠は、1980~1985年使用のソフトフィルター、L.P.F.:ローパスフィルター、H.P.F.:ハイカットフィルター、枠内にカットオフ周期を示す。

### (c) 受信装置

受信装置はデータの収集と簡単な受信処理をしてシステムやデータの監視を行なう他、モニタレコーダへの出力、磁気テープへの収録を行なっているが、整備年次によって機器の構成・操作・データ量・処理内容は若干異なる。1984年からI・IIIシステムの

17地点に円筒振動式気圧計を整備し、気圧データを歪データと共に取込み、リアルタイムで分単位の気圧補正処理を行なっている(地震予知情報課, 1985)。更にこの補正データを用いて異常検出の機能を改善した。検出方法はLP成分は3時間前との階差が設定レベル(L)を超えた時、SP成分については5分前との階差が2分間続けて設定レベル(S)を超えた時に低レベルの異常があったとする。さらにレベル値の3倍を超えると高次の異常到達としアラームを発生して自動的に異常報を出力する。受信システムはリアルタイムで潮汐補正を行なう余裕がないため、毎朝9時に前日9時のデータと比較することにより、日周変化より長周期の小さい変化の検出も行なっている。レベル値は地点別、成分別に与える。異常検出処理の前処理として、バルブ開閉後のオフセット処理や、停電・復電処理を行なう。

## § 3. データ処理

### 3.1 オリジナルファイル

2.2で述べたように受信されたデータはシステム毎に磁気テープに収録される。データの種別は歪LP、SP成分を基本に、整備年次に従って気圧・水位・温度等のデータを収録している。I・IIIシステムでは1984年整備によるデータ要素増に伴い、磁気テープのフォーマットを変更した。付図2にオリジナルファイルの各フォーマットを示し、表3-1はサンプリング間隔、1週間当りのデータ量を示す。

I・IIシステムでは各1台の磁気テープ装置(800BPI)に1分毎に収録され、テープ交換時や保守時のデータは欠落する。

IIIシステムは磁気テープ装置2台を切換えて使用するため、データの欠落はほとんどない。

ファイル作成・処理・解析は大型計算機によるオフライン処理を行なっている。オリジナルファイルはデータ収録をコンパクトにするため、データ部は

2進法のカウンタ値で記録されて居り、使用に当っては物理量換算やシフト処理を必要とする。またSV情報も1バイトに複数情報を含むため、よみ出しにはビット操作のプログラムを必要とする。但し、Ⅲシステムではポーリングに対して応答のない状態が1分以上続いた後SV情報が付加され、1分以上良好状態でSV情報が解除されるため、1分以内の無応答の頻発に対してはSV情報は付加されない。また通話中のSV情報は通話局のみに付加される等データ使用に当っては、種々のチェックを必要とする。

### 3.2 時間値ファイル

時間値については、地点毎に観測開始からの積算歪値を作成している(観測部地震課 1979)。

①オリジナルファイルのLP成分および環境要素について毎正分から10分間のデータをよみ出す。各要素毎に平均値を求めノイズレベルより外れたデータを除いて再度平均値を求めて、その時刻の時間値とする。

②バルブ開閉や、保守作業時のオフセット量のシフト処理をして、連続した積算データを作る。バルブ開閉時に判明する地上観測装置内の直流増幅器および差動変圧器用の4 KHz発振器等のエレクトロニクスに起因するドリフト量も併せて補正する。

このように時間値は正時を中心とする値になっていない。これは観測開始当時の大型コンピュータの使用条件に規制されたため、また当時の地殻変動データの精度と比べて不都合はなかったが、今後の解析のためには改善する必要がある。

なお、浜岡・榛原のデータは、1981年5月以前は受信データを磁気テープに収録できなかったため、1977年7月～1978年9月12日までが3時間毎の瞬間値、1978年9月13日～1981年4月までが1時間毎の瞬間値を時間値としている。バルブ開閉時のシフト処理は簡易な手法で行なわれている。

### 3.3 時間値データの修正・補間処理

地殻変動データは解析処理上、連続データであることが望ましい。このため、欠落データや不適確なデータに対しては、印字データやモニタデータから、或いは各種補間処理によってデータを修正・補充している。補間処理には1次式、スプライン関数、最尤法などを利用している。また、気圧データの修正・補間処理には近接地点の気圧データを参照する。

地殻変動データは気圧や潮汐により大きく影響され、その中に特異現象が含まれていると補間処理はかなり困難であるが、最近では、統計数理研究所と緯度観測所で共同開発されたベイズモデルによるプログラムを活用している(石黒他、1984)

図3-1は停電中と復電後のデータの例である。停電中のデータは受信システムにおいて停電直前の値をホールドさせているため、LP、SP成分共直線である。復電直後LP成分は必ず伸び側にシフトしてから徐々に戻るが、元の位置に達する迄に0.5～数日を要する。SP成分も復電時のショックで大きくズレ、数時間から1日かけて回復する。これは主に地中変換部へ供給している100mAの電流が途絶されて地中変換部内が冷却すること、地上観測装置の恒温槽が冷却し、使用部品の温度特性によって出力に影響が出ること、各部品が復電時のショックをうけることなどが考えられる。シフト量は $10^{-6}$  strainのオーダーに達することもあり、地点・停電期間・季節によって一様でないほか、戻り方も多様であるため、停電一復電の補正は未処理としている。

バルブ開閉のシフト処理は動作前と終了後の一定時間後の差をとっているが、一連の動作の所要時間が30～40分であるため、ドリフトの大きい地点や、気圧変動が大きい時期は正確なシフト量が得られない。これについては今後再処理を行なう必要がある。また、大きな変化が短時間に発生すると、バルブ開閉中に歪変化の様相が変わることもあり、1980年3月の館山や1985年6月の長柄の変化についてはデータを連続することができなくなった。

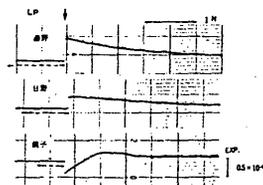


図3-1 復電後の歪LP成分の記録例  
点線部は停電中

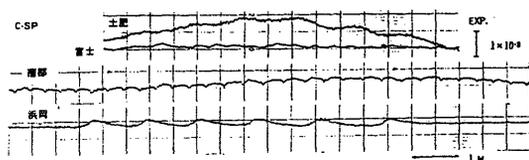


図3-2 恒温槽による影響  
(気圧補正した歪SP成分)

図3-2は地上観測装置の恒温槽の構造によるゆらぎで、これも地点、季節、形状、周期共に一様でなく、データの修正は難しい。

3.4 分値ファイル

すべてのデータが秒単位で記録されているオリジナルファイルと、LP成分・環境要素データの時間値ファイルの中間的なファイルとして、観測開始以来の分値ファイルを作成し、解析処理の能率化を図っている。分値ファイルは、オリジナルファイルに存在する全要素を60秒毎にぬきとったものである。

しかし、毎時正分から10分まで以外の時間帯は、回線上の作業による欠測や保守作業による誤データも多く、また3.1で述べたようにI・IIシステムのオリジナルファイルは欠測が多い。また分解能が高いSP成分の解析の際には測定系のノイズも考慮する必要がある。

3.5 気圧補正

歪データは気圧変化に大きく影響され(0.5~2×10<sup>-8</sup>strain/mb)、監視上だけでなくデータの解析でも気圧補正を行なう必要がある。1981年5月以降の時間値は全地点の気圧補正が行なえる。気圧計がない地点は、東海地域は榛原の、南関東地域は富津の気圧データを用いて補正している。分値データについては気圧計を整備した地点でのみ気圧補正データが得られる。

1976年4月~1981年4月の期間は、歪観測システムに気圧計が未整備であり、気象官署においても毎時の気圧データが読み取られていないため、日単位の気圧補正が限度である。

気圧補正の詳細については松皮ら(1983)、上垣内(1987)を参照されたい。

3.6 資料発表

3.2で作成されたデータは下記のとおり発表されている。

- ①地震月報：積算歪の日平均値表と時間値による歪変化図。12月号に観測開始以来の歪変化図および1年間の歪変化図。1月号に観測地点表
- ②地震防災対策強化地域判定会委員打合せ会(年8回)：定期資料、調査資料。
- ③地震予知連絡会(年4回以上)：同上
- ④火山噴火予知連絡会(年3回以上)：同上
- ⑤歪ニュース(毎月)：歪計管理官署などを対象とし

た部内資料、毎月の歪変化図とデータの説明および業務の連絡

図3-3に地震月報に掲載している日平均値による歪変化図、図3-4に判定会や地震予知連絡会に出している時間値による歪変化および気圧補正(C-)の変化図を示す。いずれも上向きに伸び、下向きに縮みを示し、単位は図の左下に示す。

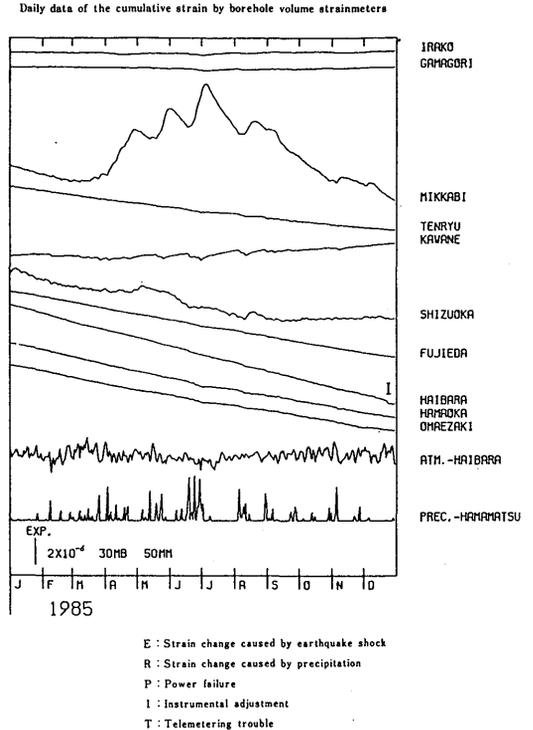


図3-3 歪日変化図(気圧補正した歪LP成分)

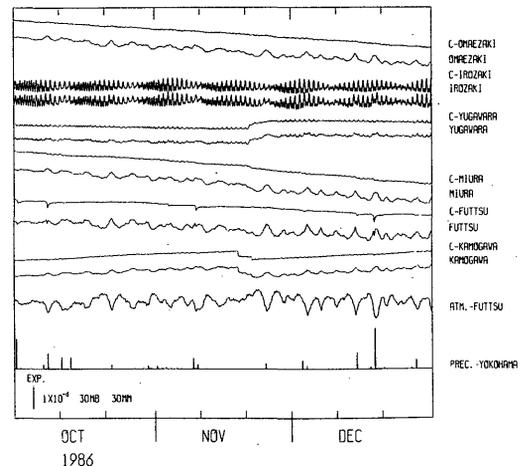


図3-4 歪時間値変化図  
C：気圧補正值

地震月報には観測開始以来の積算歪値(日平均)を掲載している(Table 4: Daily data of the cumulative strain by borehole volume strainmeters.).

表中+(符号なし)は伸び, -は縮みを表わし, 単位は $10^{-6}$  strainである.

なお歪は本来無次元の量であるが, 地殻変動観測上での変化量として「strain(ストレイン)」を使用している. 歪量は微小な量であるため $10^{-6}$ を「マイクロストレイン,  $\mu$  strain」と表現することもある.

#### § 4. 観測結果

図4-1に各地点の観測開始以来の歪変化を実線で示す. 左にのびした点線部の始点は埋設時を示す. 観測開始まで最も長い期間を持つ地点は三浦(14ヶ月)で, 最も短い地点は大島(1ヶ月)であった. 浜岡・榛原は1977年5月から観測を始めたが, この図ではデジタル収録された1981年5月からの変化のみを示す(末広1985, 気象庁地震予知情報課1986).

##### 4.1 初期変化

ほとんどの地点で, 埋設から1~2年間は埋設効果による縮みの大きいトレンドがあり, 年を経ると共に次第に落ち着く. これは地中変換部と周辺岩盤を固着するために使用している膨脹剤を添加したモルタルの初期効果が, 地中変換部に圧縮として作用するものと考えられる.

大島は埋設後1ヶ月で観測を開始したため, モルタルの初期膨張以上に埋設時のモルタルの硬化に伴

う急激な温度低下があり, 歪データは大きな伸びの変化を示した(図4-2). 約6ヶ月後に温度が安定すると共に(約 $16^{\circ}\text{C}$ ), 歪データも伸びの変化が見えなくなった.

伊良湖・静岡・富士・八日市場などでは, 観測初期に微小なステップ状現象が多発していたが, 富士・八日市場・伊良湖では次第に発生回数が減少し, また静岡では, 近距離に大きな地震が発生した後に急減した(気象庁地震課1977, 末広1985). これは地中変換部埋設のために岩盤に孔をあけたことによる地中の応力の不安定さが, 時間の経過と共に或いは地震動等で安定化したものと解釈している. 図4-3にステップ状変化の例を示す.

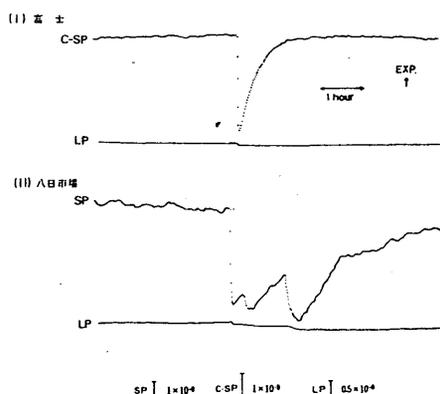


図4-3 ステップ状変化の記録例

(I): 1986年4月22日, 富士

(II): 1984年5月22日, 八日市場

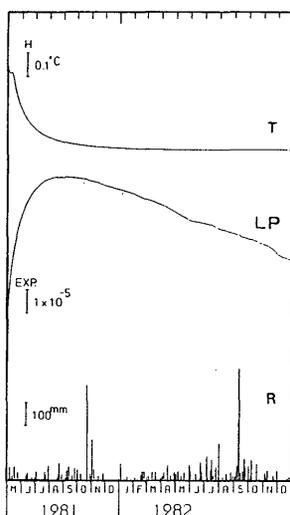


図4-2 観測開始初期の大島歪変化と温度変化

##### 4.2 永年変化

一般に多くの地点では縮みのトレンドが観測される. この中には実際の歪変化と4.1で述べた埋設の初期効果が加わっている.

トレンドの大きな地点は御前崎・浜岡・榛原・湯河原・三浦・横浜・大島・勝浦などの泥岩地帯に埋設された地点である. 伊良湖・蒲郡・銚子は固い岩に埋設しており, 観測開始以来非常に安定している. 伸びのトレンドを持つ地点は鴨川・富士・川根・東伊豆で, 鴨川は観測初期から次第に緩慢になってきている. 富士は観測初期の数年間降雨による影響が大きく, 地震に伴うステップ状現象や4.1で述べた初期の微小変化が多発していたが, それらの現象がおさまる一方で伸びのトレンドがやゝ目立ってきている. 温泉地帯にある東伊豆では観測開始以来大

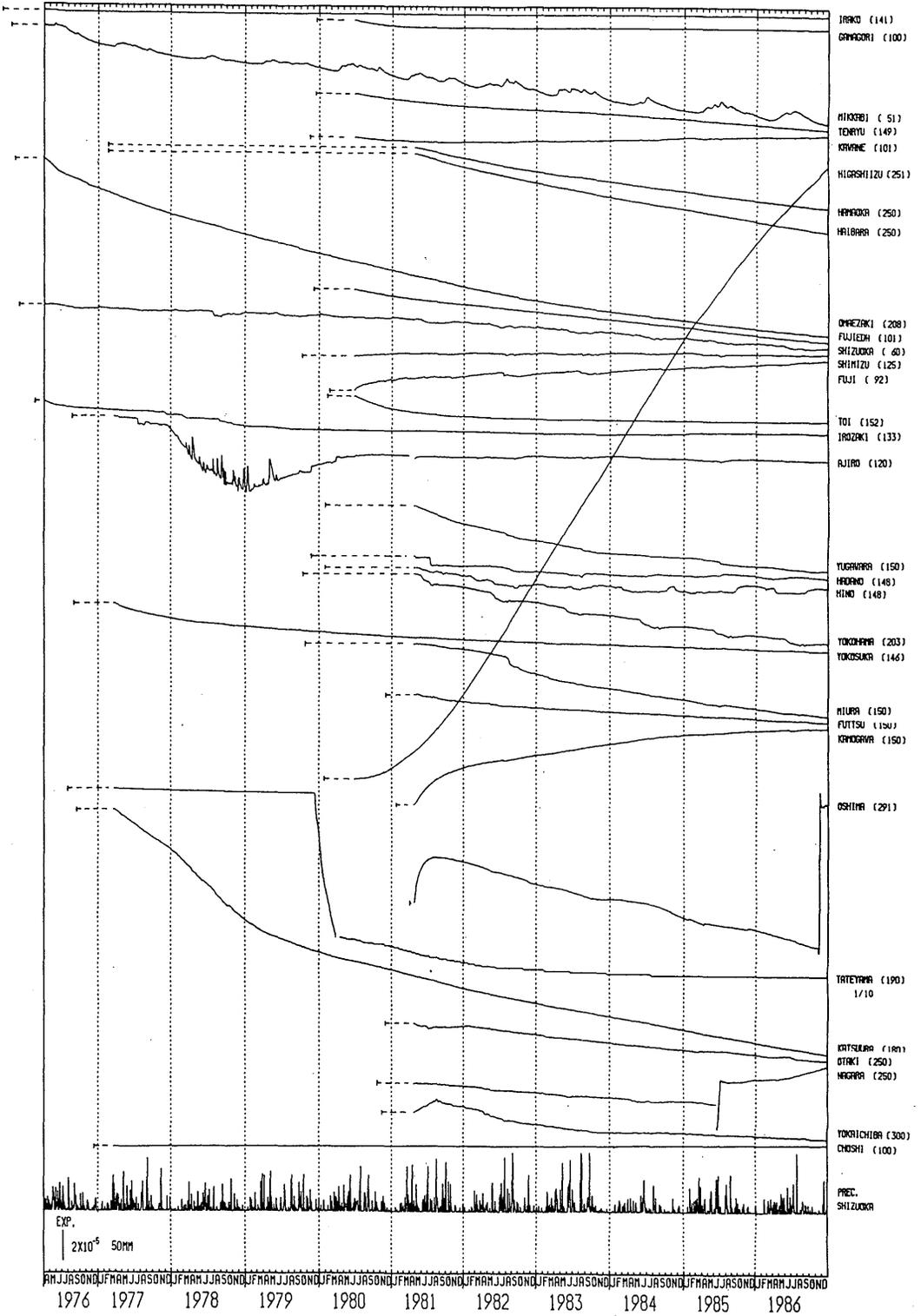


図4-1 観測開始以来の歪変化図

右( )内は、埋没深度(単位m)

静岡降水量は2日毎の平均値(100m以上の降水量は100mm以上を省略)

きな伸び変化を示している。1983～1984年頃が最も大きく、1日当たり $0.25 \times 10^{-8}$ ストレインの伸び変化であったが、1985年から伸び変化が次第に緩くなり1986年末頃は1日当たり $0.14 \times 10^{-8}$ ストレインの伸び変化となった。1982年頃の調査によれば歪の伸び変化は主に地中温度の低下による地中変換部の温度特性を反映したものであることが判った(梶皮他, 1983)。

また、静岡・日野・秦野・横浜や房総地域の地点では不規則な変動をしている。これらの地点は周辺の地下水状態等の人為的な影響を受けていることが考えられる。長柄では、1985年6～7月に原因不明の急激で大きな「一度縮んでから伸びに転ずる現象」(以下、「縮→伸」現象)が発生した。縮み量は測定できなかったので歪の値はこの変化の前後が連続しない。この後しばらく微小ステップ状変化の発生パターンが周期性を持つなどの現象があったが、次第に落ち着いて、1986年5月以降は伸び傾向が次第に増大している。八日市場では1981年8月を境に、大多喜では、1982年1月を境に伸びのトレンドが縮みへ転じているが原因は判らない。

大きな地震の後や、多量の降水の後、機器の調整後にトレンドが変わることもある。1976年6～7月に伊良湖・三ヶ日・御前崎・静岡・石廊崎では地上観測装置の調整によってトレンドが変わっている。

館山は1979年12月に縮み変化傾向が増大し次第に激しくなった。1980年3月までに $10^{-3}$ strainの縮み量に達した後、計器の点検のため、約1ヶ月間バルブ開のまま、放置した。観測再開後のデータは自然現象とは考えにくい挙動を示している。年1回実施している熱感度検定によっても次第に感度が鈍り、気圧応答も他地点に比べて位相がずれるなどの状況から、1979年12月、館山の地中変換部に何等かの障害が発生した疑いがある。

網代では地上観測装置修理のため1981年3月から約1ヶ月間欠測していたが、この期間中に大きな歪変化はなかったことにして、観測データを連続させている。

#### 4.3 地域の代表性

地殻変動は周辺媒質の性質に影響されるが、大地震の前兆現象を捉えるためには、近接地点で連続性があることが望ましい。

御前崎・浜岡・榛原の永年変化はほぼ同程度のトレンドを持ち(図4-1)3地点の共通性が伺える。

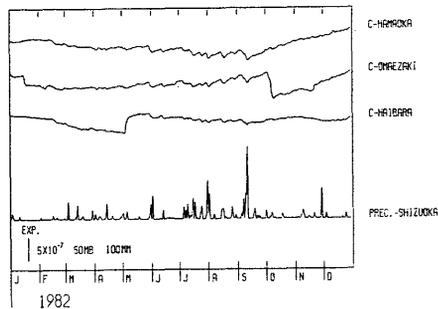


図4-4 1982年の浜岡・御前崎・榛原の歪日変化(気圧補正,トレンド除去)

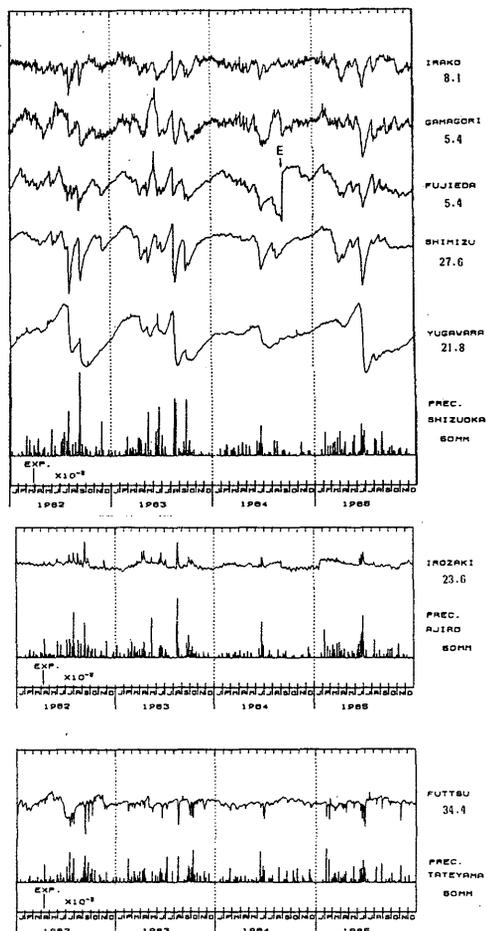


図4-5 ローカット処理後の歪日変化(気圧補正)

地点名の下に数字は左下スケールの大きさを示す。

Eは1984年9月15日 長野県西部地震

図4-4は1982年の歪変化で、5月に榛原、10月に御前崎で時間経過の長い縮み(或いは伸び)変化があったもので、これが極く局所的な地殻変動か、時間差をおいた広域的な変動か、現段階では判別がつかない。

4.4 年周変化

図4-5は1982~1985年の日平均値に500時間のlow cutフィルターを通した結果である。

多くの地点で、春-夏は縮み変化や擾乱があり、冬季は安定するか伸び傾向になるという年周変化が見られる。これらはおそらく降雨に対する時間遅れの応答であると思われる。

横浜では図4-6に示すように毎年5月末~6月はじめに突然縮み変化をはじめ、8月頃から伸びに転じて5月以前のトレンドの延長線に達して落ち着くという $5 \times 10^{-6}$  strainに達する年変化が現れる。変化の始まりがシャープであることや、毎年変化の発生日が限られた期間内であることから、季節に関わる人為的要因で周辺の帯水層の状態が急変するのではないかと考えている。

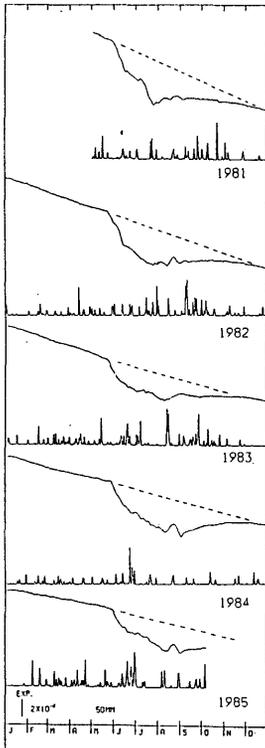


図4-6 横浜における年別歪日変化(気圧補正)  
(横浜の日降水量100mm以上は100mm以上を省略)

4.5 降水による変化

三ヶ日の歪変化は他の観測地点に比べて年変化 $1 \times 10^{-5}$  strainの不規則な変化をしている。しかし25km離れた浜松の日降水量を用いたタンクモデルのシミュレーションにより、降水に対する時間遅れを伴う非線型の応答として説明されている(二瓶他, 1983)。図4-8は1977・1978年の歪変化に合うように設定されたモデル(図4-7)に1981~1985年の浜松の日降水量を適用したものである。トレンドを除去した三ヶ日の歪変化(上段)と5番目のタンクの出力は、現在でも非常に良く合致している。

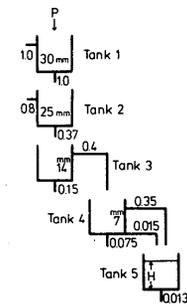


図4-7 降水応答モデル

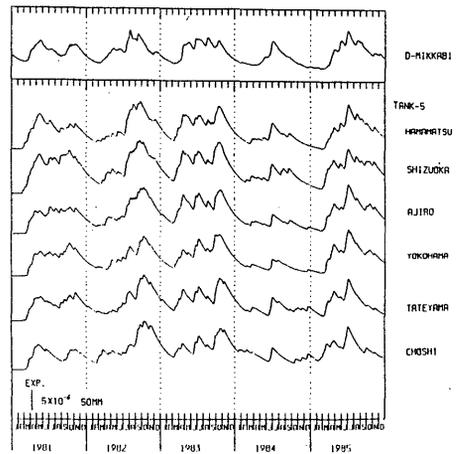


図4-8 降水応答の例

上段: 三ヶ日の日変化(トレンド除去)  
TANK5: 浜松・静岡・網代・横浜・館山・銚子の日降水量を、図4-7の降水モデルに適用した結果。

さらに静岡・網代・横須賀・館山・銚子の日降水量を同じモデルに入力したところ浜松の降水量の場合と類似のパターンが得られた。これは、例えば東海

—南関東地域のどこかの地殻変動データが三ヶ日の歪変化と同じパターンを示した場合、その地殻変動データは三ヶ日と同じ降水の応答のメカニズムを持つ可能性がある。

図4-9は1985年の清水・網代・東伊豆・湯河原・三浦・秦野の歪変化で、6月末の降水の後一斉に伸び或いは縮みに変化している。何等かの広域的な歪変化があったものと見られるが、その原因が降水による可能性も大きい。

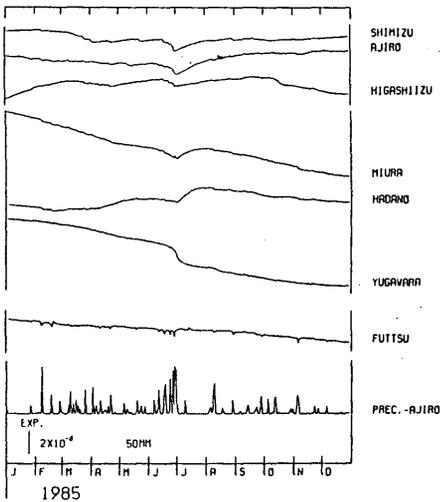


図4-9 1985年、清水・網代・東伊豆・湯河原・三浦・秦野の歪日変化(気圧補正)  
(日降水量100mm以上は100mm以上を省略)

多くの地点では降水時に降水が荷重として働き歪変化は一時的に縮むが、その後ゆっくり大きく伸びに転ずる。変化は時間の経過に従い次第に緩くなる。湯河原では数日遅れで現れるゆっくりした縮み変化が顕著であるが、さらに詳しく解析すると降水直後一時的に縮み、次いで伸びに転じ、更に時間遅れで大きく縮み変化すること、またその応答は乾燥期(秋-冬)と雨期(春-夏)によって異なることが調べられた(小泉他, 1986)

31地点中、石廊崎と銚子は降雨直後に、伸びの変化が現れる(図4-5)。少雨では歪は変化しないが、降水量がある閾値を超えると一時的な伸び変化が現れ、数日で元に戻る。値は季節等によって一定でない。また富津では、多量の降水の後、数時間遅れで大きな縮み変化( $10^{-5}$  strainに達するものもある)

が現れ、数日で戻る(図4-5, 図4-10)。大雨直後に観測井の水位に変化がないことが確認されて居る。降水量は36km離れた館山測候所のデータによるため確実なことは言えないが、縮み変化の発生は実際の降水から時間遅れがあることが経験的に推定され、変化の大きさも降雨量の荷重効果では説明できない程大きい量である。

富津の観測地点のすぐ傍は約15m切れ込んだ川崖となっており、20m巾の川が蛇行していることから、川の流量増による地形の一時的な変形によるものと推定している。

地殻変動観測に対する降水の影響は、これまで多くのシミュレーションが試みられ、ある程度の説明はつけられるが、応答は地点毎に異なるうえ、周辺の地表・地中の環境変化によってきわめて流動的であるため定まった手法が確立されていない。

以上述べたことは、日単位の降水応答であるが、分・時間刻みで $10^{-8}$  strain以下の小さな歪変化を説明する場合は、時間降水量だけでなく分単位の降水量も対比させる必要がある。図4-11は御前崎測候所の降雨強度のパターンが歪変化とよく対応していることを示す。

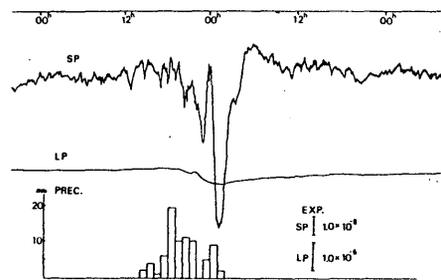


図4-10 富津の歪変化(LP, SP成分)と館山の時間降水量(1985年8月30・31日)

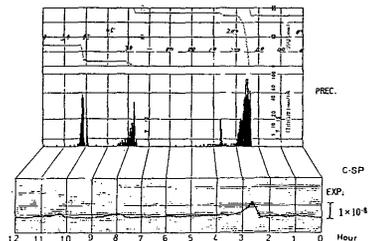


図4-11 御前崎の気圧補正後の歪短周期成分(C-SP)と降雨強度記録

### 4.6 潮汐変化

地殻変動は地球潮汐・海洋潮汐によっても大きな影響をうける。歪観測は全地点において潮汐変化によく対応し(藤留, 1983), 測器の信頼性の検証にもなっている(図4-12)。石廊崎・大島・勝浦・土肥の歪観測地点は海洋に近いので海洋潮の影響が大

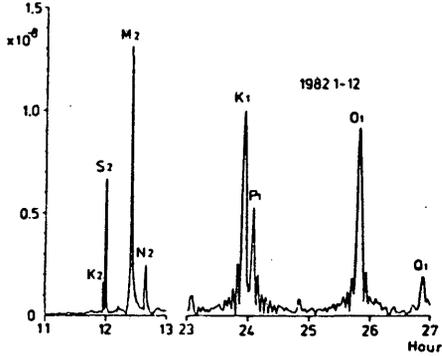


図4-12 歪データの潮汐応答(藤枝)  
—福留による—

きく、石廊崎では $10^{-6}$  strainの潮汐振幅を記録している。歪データの潮汐応答も徐々に調査され、今後リアルタイムで潮汐変化を除去する予定である。

### 4.7 不規則な変化

図4-13(a)は秦野の歪変化を年別に並べたものであるが、毎年違ったパターンが現れる。秦野では観測地点直上を含めて2,000 m<sup>2</sup>の広さに1.4 mの盛土工事があり、その影響が特に多量の降水後に顕著に現れる可能性がある。日野でも季節を問わず、降水とも対応しない不規則な変化をしているが、周辺の揚水の影響らしいことが判っている(図4-13(b))。しかし地下水状態や揚水の実態を把握することは困難である。

周期性のない変化は、ある時期の環境変化によるものか、地震の前兆現象かを識別することは困難であるが、解明に努力しなければならない。しかし逆に、岩盤の安定した地点よりも、普段から特異現象が発生する地点が前兆現象に対しても敏感に反応す

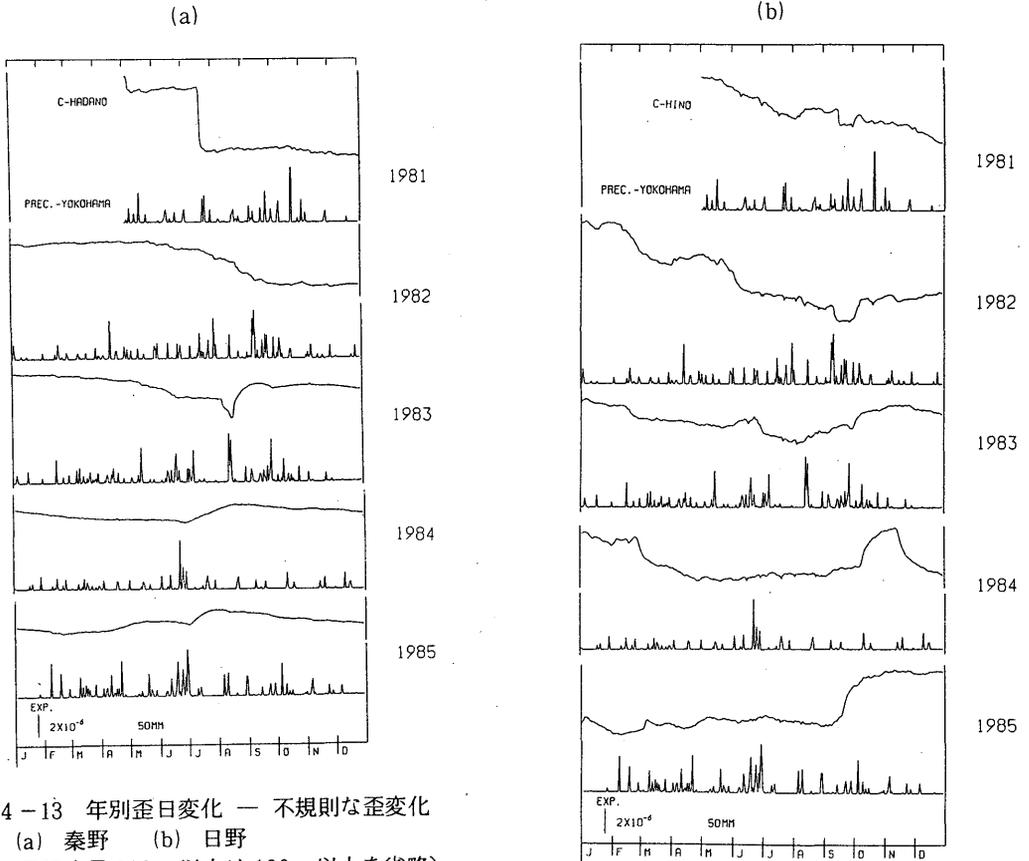


図4-13 年別歪日変化 — 不規則な歪変化  
(a) 秦野 (b) 日野  
(日降水量100mm以上は100mm以上を省略)

ようなケースも考えられる。

2.2 (5)で述べたように、測定された歪量は地点によって地中の本来の歪変化を増幅或いは減衰している。従って、伊良湖・蒲郡・銚子のように安定した岩盤に埋設された地点が大地震の発生の危険が小さく、トレンドの大きい地点が危険が迫っているとは言えない。現在ではトレンドのレートが一定であればそれなりに安定していると考え、トレンドの変わり方や特異現象の発生に注目している。

#### 4.8 永年変化の分類

31観測地点は、トレンドの大きさ、年周変化の現れ方、不規則変化の有無、周辺媒質のヤング率の違い、温度に対する応答の違いなど、いくつかの視点から分類が試みられている(脇田他 1984, 末広 1985, 古屋他 1986)。吉川は(吉川 1986 a)、周辺媒質のヤング率の違いによる歪の増幅率を有限要素法で求め、観測値と比較してヤング率の大きい順にA, B, Cの3クラスに分類し、伊豆・東海地域の観測点はA, Bいずれかのクラスに含まれるのに対し、南関東地域の観測点はほとんどB, Cいずれかのクラスに含まれ、B, Cクラスに分類された地点は降水による影響や不規則なステップ状変化が現れやすいと指摘している。

### § 5. 特異変化

#### 5.1 石廊崎・網代の変化

図5-1(a)は1977年~1981年の石廊崎と網代の

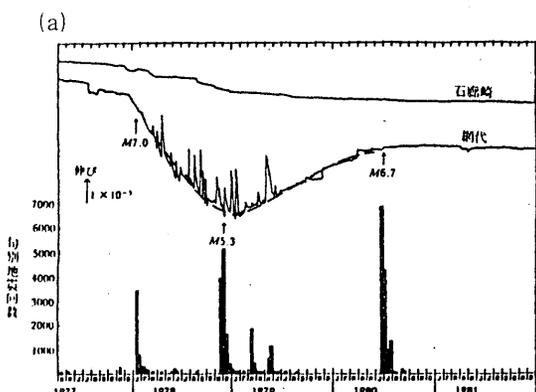


図5-1 石廊崎と網代の歪変化

(a) 石廊崎と網代の歪変化と大島近海の地震活動(鎌田におけるP~S<6秒の旬別地震回数)。

(b) 1978年1月14日伊豆大島近海の地震前後に現れた石廊崎の歪変化および類似の地殻変動観測データ(脇田による)

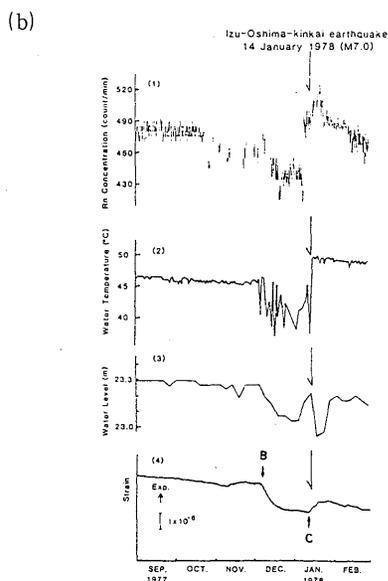
歪変化および鎌田の地震回数である。

石廊崎では(図5-1(b))1977年12月より縮み変化が始まり1978年1月10日に伸びに転じた。そして3.5日後の1月14日に伊豆大島近海地震が発生した(気象庁地震課1978, a, b 気象庁地震予知情報室1980, 末広1985)。

網代でも1977年12月末から縮み変化が始まり、1978年1月14日の地震後 $10^{-5}$ strainの大きな「伸び」と「縮み」の変化がほぼ同量で交互にくり返し発生した。これは地震により周辺媒質の状態が変化し、近くの温泉井の揚水の影響をうけた2次的な短時日間の変化が、鎖線で示すベースラインの歪変化に重なったものと推定している。ベースラインは地震後も縮み変化を続けていたが、1978年11・12月に川奈崎沖に発生した群発地震を契機に「伸び」に転じた。そして2次的変化も次第に減少して、1980年6月29日に発生した伊豆半島東方沖の地震(M6.7)の後は伸び変化も終息して、1977年12月以前のトレンドの延長上にもどった。

石廊崎は1978年1月の地震後も不規則な縮み変化をしていたが、網代と同様、1980年後半に安定した。石廊崎は海岸に近い海洋潮による大きな潮汐成分が現れる地点で、SP成分での潮汐振巾の最大となる部分で(変化速度が最大になる時)ステップ状変化が発生していたが、1981年頃から現れなくなった。

他機関で行なっていた他種目の地殻データにも歪変化と類似のパターンが観測された。石廊崎と類似



の現象としては中伊豆におけるラドン濃度（東京大学）や、震央から約30km離れた地点における水位・水温（地質調査所）変化の報告があり（図5-1(b)）（脇田他，1984），網代のベースラインに似た現象としては重力観測（東京大学）の報告がある。

なお、石廊崎の1977年12月の縮みをはじめと1978年1月の伸びはじめ（図5-1(b)のB, C）や、網代の1977年12月の縮みの始まりは、いずれも短周期成分を含まないゆっくりした変化であった。

## 5.2 三浦の変化

三浦では、1982年8月7日頃から縮み変化が大きくなり、12日に三浦半島の沖でM5.7の地震が発生した（気象庁地震予知情報課1983，末広1985）。その後も三浦では短周期成分が卓越したステップ状の現象が頻発し、8月12日の地震との関連性が注目された（図5-2）。ステップ状の変化は1983年末頃まで多発していたが、1984年以降は発生していない。1982・1983年に顕著であった縮み変化も次第に緩くなった（図4-1）。

三浦の観測地点周辺は大規模な宅地造成工事が進行しているが、このような大規模な土木工事が地中深部に及ぼす影響の時間・空間的過程を具体的に知ることは難しい。例えば、図4-9に見る1985年の降水後のゆっくりした伸び変化は過去の年にはなかったもので、地中の状態と変化を反映したと思うが、地表付近の出来ごととの因果関係は解明できない。

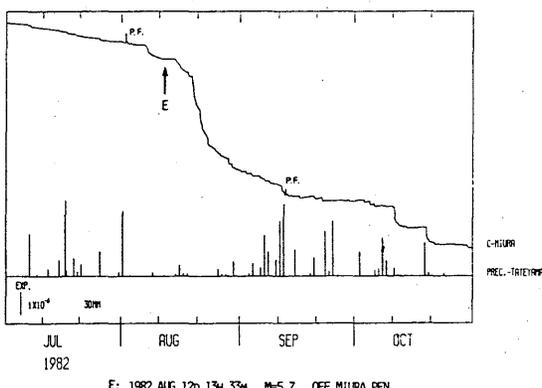


図5-2 三浦の歪変化

## 5.3 大島の変化

大島の歪変化は4.1で述べた初期効果を除くとは縮みのトレンドを持つが、

①トレンドの変化や、急激な現象の発生のいくつ

かが火山活動と関連する。

②微小ステップ変化が間欠的に発生する。

③潮汐振幅が増大する。

などの特異な現象が観測されている（気象庁地震予知情報課1983，1985，1986，佐藤他1984，沢田他，1984）。

図5-3は観測開始からの大島の歪の日変化図で、上段には微小ステップ状変化（ $1 \times 10^{-8}$  strain以上）の発生状況を示す。ステップ状変化の発生は観測初期の1981・1982年は「伸び」と「縮み」が散発していたが、その後1983年3-10月，1984年7月-1985年4月，1986年6-8月に「縮み」だけが群発した。（1）～（6）は大島から100 km以内に発生したM5.7以上の地震で1982・1983年に集中している。

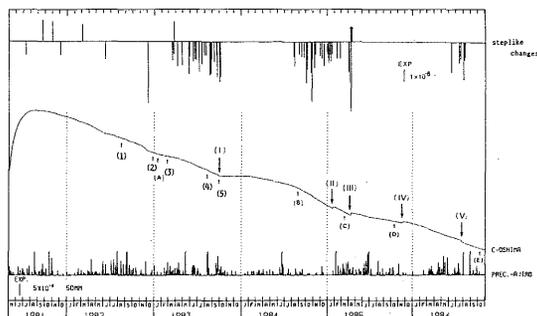


図5-3 大島の歪変化  
(1981年5月～1986年10月)

- (1) 1982年8月12日 13時33分，三浦半島沖 (M = 5.7)
  - (2) 1982年12月28日 15時37分，三宅島近海 (M = 6.4)
  - (3) 1983年2月27日 21時14分，茨城県南部 (M = 6.0)
  - (4) 1983年8月8日 12時47分，神奈川・山梨県境 (M = 6.0)
  - (5) 1983年10月3日 22時33分，三宅島近海 (M = 6.2)
- (A)～(E) 伊豆半島東方沖および大島近海の主な群発地震。

(A)～(E)は伊豆大島東方沖および大島近海に発生した群発地震活動のうち、主な発生期を示す。

[I] (1983.10)，[II] (1985.1)，[III] (1985.4)  
[IV] (1985.11)，[V] (1986.7)，[VI] (1986.

11.15), [VII] (1986.11.20), [VIII] (1986.11.21), [K] (1986.12.12), [X] (1986.12.14) は歪変化のトレンドが変わったり、伸びや縮み変化、或いは急激な変化が発生したイベントである。( [V] ~ [K] は図5-4を参照。)

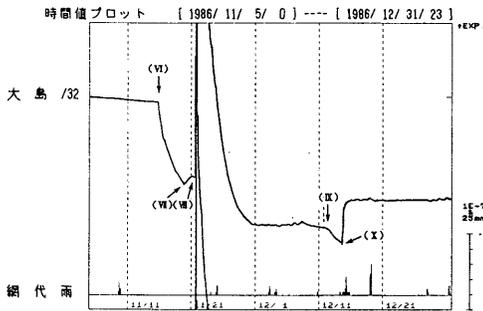


図5-4 1986年11月5日-12月31日の大島の歪変化と伊豆大島の火山活動 (歪変化は右下スケールの1/32に縮少してある)

[I]は1983年10月1日から1984年2月まで縮みのトレンドがほとんどなくなり、微小ステップ状変化の発生も止った。潮汐の $M_2$ 振幅の増大傾向は[I]以前は1年当り理論値の20%であったものが、1983年10月頃以降は年当り8%増大傾向のレートになった。1983年10月3日三宅島で噴火と地震(M6.2)が発生し、関連性が注目された。

[V]~[VIII]は1986年の大島の火山活動に対応する変化である。[V]の頃から大島では火山性微動が発生しはじめた。図5-4は1986年11・12月の気圧・潮汐を補正した時間値歪変化で、11月15日・11月21日の噴火活動に対応して顕著な歪変化が現れている。[V], [VIII], [IV]は温度変化も伴い、[V], [K]の縮み変化は主に周辺の温度変化によるものとして説明できる。

[II]~[IV]は噴火活動はなく、逆に1986年12月18日の小噴火の際の歪データは $10^{-8}$ 程度のゆらぎが直前に現われただけであった。しかし、12月から微動に対応して歪データに微小な伸び変化が現れている。火山活動と何等かの関連があると思われる、物理的な因果関係を検討中である。また、[III], [VIII], [X]で現れた「縮み→伸び」の現象は他地点でも稀に現れる現象で、大島の場合、火山活動を原因とした2次の現象とも考えられる。

なお1984年、大島の微小ステップ状変化発生時に

歪計の地点で地震波とみられる振動は発生していないこと、大島付近に発生した地震に伴う歪変化は速い立上りを示すのに対し、地震を伴わない歪変化はゆるい立上がりであること、などが調べられている。

#### 5.4 大島・東伊豆・湯河原・三浦・土肥の変化

1986年11月21日大島の歪データに急激な歪変化が発生した時(5.3 [VIII])とほぼ同時に、東伊豆・湯河原・土肥では伸び、三浦では縮み変化が現れ、11月末まで続いて徐々に小さくなった。各地点の変化の大きさは大島からの距離の3乗にほぼ逆比例し、大島の火山活動をソースとした地殻変動が広域にわたり観測されたものと見ることができる。

#### §6. あとがき (後編へ)

体積歪データは地殻の応力状態を反映した変化の他に気象や潮汐、地下水の状態に大きく影響され、地点毎に特徴がある。これら環境要素に対する普段の応答を調べることは、地殻変動観測の基本事項である。周期性の現象や観測できる要素についてはある程度補正処理も可能となり、気圧・潮汐に対する影響については別稿で発表する。

歪データを地震予知に利用する場合、分単位の監視を行なう必要があるが、これら補正処理後、精度の上ったデータに対してさらに、微小な環境要素の影響をとり除かねばならない。微小変化や、不規則現象に対しては原因解明が難しいが、蓄積されたデータから周辺媒質の違いで定性的に説明できるものもあり、これらは追って続編として発表する予定である。

なお3.3で述べた処理は、近く地震火山部に整備される「地殻活動等総合監視システム」で、大巾に改善される予定である。

#### 謝辞

本報告は、観測開始以来歪観測とデータ処理に携わった、山岸要吉、竹内新、松久義、福留篤男、上地清市、松森敏幸、高橋博、松島功各氏の努力の積重ねによるものであり、こゝに深く感謝の意を表します。また気象大学校古屋逸夫氏と、気象研究所吉田明夫氏には永年にわたって御指導を戴き、更に本報告をまとめるに際し貴重な御助言をいただきました。北海道大学島村英紀氏そして東京大学脇田宏氏からも歪観測に対して御理解と御支援をいただき居ります。気象研究所地震火山研究部の各氏とは

資料の交換を通じて有益な御意見を承わって居ます。また本報告作成に当って、松森敏幸氏にプログラムの、高橋博・松島功氏に作図の御協力を得ました。更に山本雅博氏から数々の御配慮と御助言をいただきました。

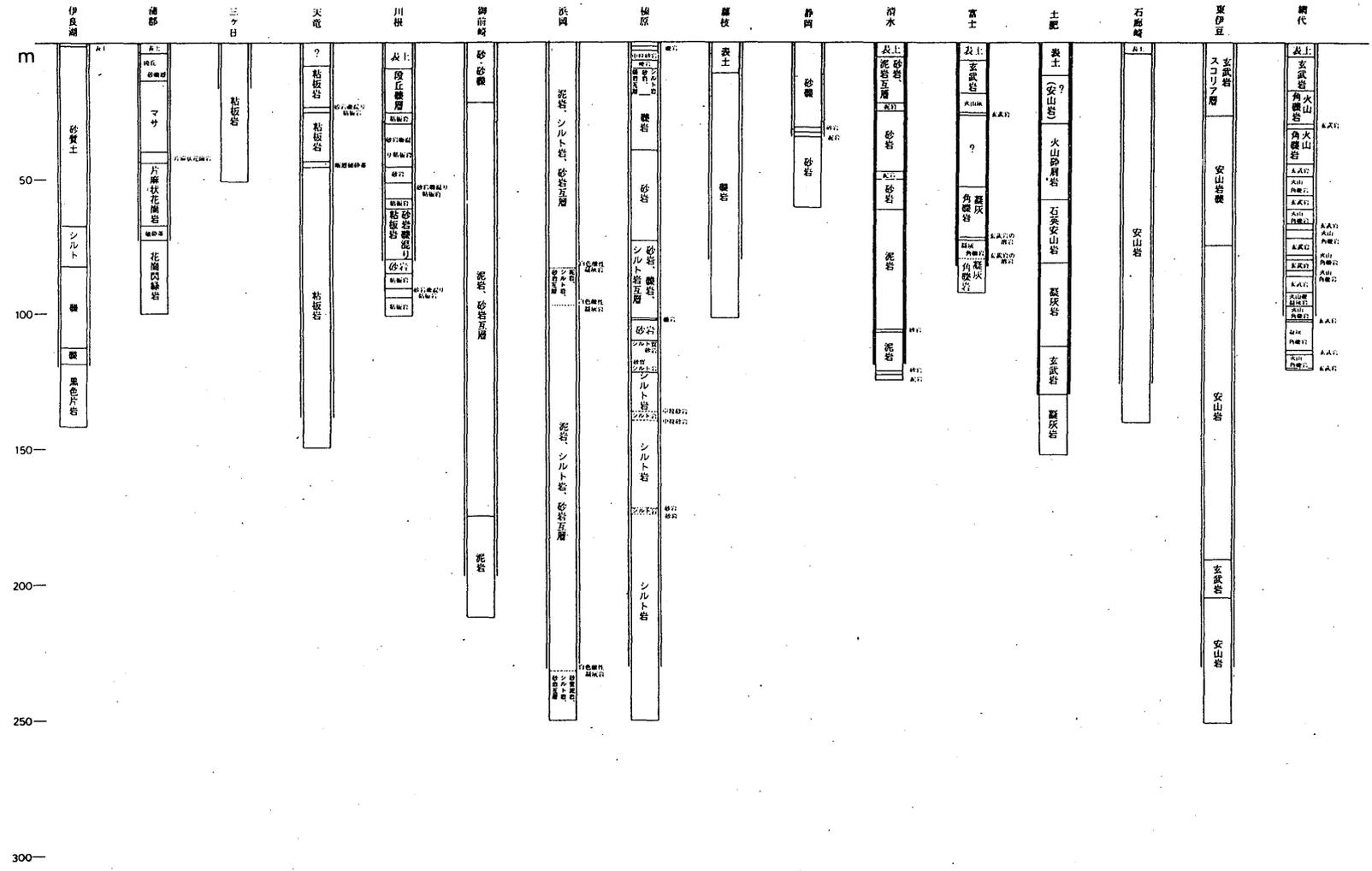
以上の皆様に厚く御礼申し上げます。

なお、埋込式体積歪計の開発および業務化については、前気象庁長官末廣重二氏の御努力によるものが大きいことを付記致します。

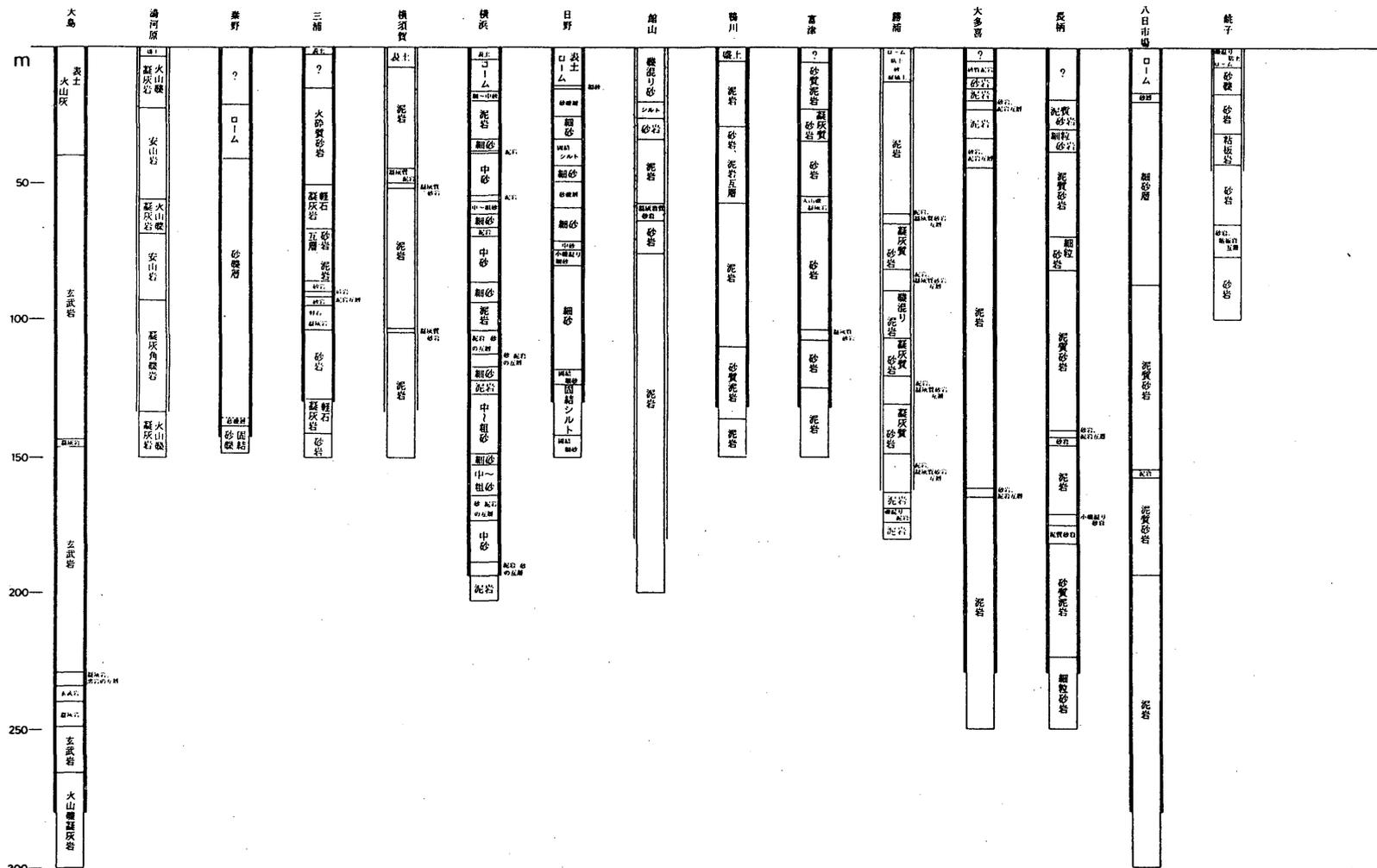
#### 参考文献

- 気象庁地震課 (1977): 埋込式体積歪計による東海地区の観測結果について, 地震予知連絡会会報, 17, 102-125.
- 気象庁地震課 (1978 a): 1984年1月14日伊豆大島近海の地震調査報告 (補遺), 験震時報, 43, 51-52.
- 気象庁地震課 (1978 b): 1978年 伊豆大島近海地震について, 地震予知連絡会会報, 20, 45-50.
- 観測部地震課 (1979 a): 地殻変動連続観測と埋込式歪計(I), 測候時報, 46, 9-25.
- 観測部地震課 (1979 b): 地殻変動連続観測と埋込式歪計(II), 測候時報, 46, 55-59.
- 気象庁地震予知情報室 (1980): 伊豆半島周辺の地震活動と歪計の変化について, 地震予知連絡会会報, 23, 45-47.
- 古屋逸夫 (1982): 体積歪計の理論応答, 験震時報, 47, 71-76.
- 松皮久義・佐藤馨・二瓶信一・福留篤男・竹内新・古屋逸夫 (1983 a): 埋込式体積歪計の気圧補正, 験震時報, 47, 91-111.
- 二瓶信一・松皮久義 (1983): 三ヶ日における埋込式体積歪計に対する降雨の影響, 験震時報, 48, 18-22.
- 福留篤男 (1983): 埋込式体積歪計による地球潮汐の観測, 験震時報, 48, 23-33.
- 松皮久義・二瓶信一・島村英紀 (1983 b): 埋込式体積歪計孔内での精密地下水温観測, 地震学会講演予稿集 1983.1. 244.
- 気象庁地震予知情報課 (1983): 東海・南関東地域における歪観測結果 (1982年5月-10月), 地震予知連絡会会報, 29, 219-235.
- 気象庁地震予知情報課 (1984): 東海・南関東地域における歪観測結果 (1983年5月-10月), 地震予知連絡会会報, 31, 321-332.
- 佐藤馨・二瓶信一・福留篤男・上地清市・上垣内修 (1984): 三宅島の噴火前後に伊豆大島体積歪計に現われた現象, 験震時報, 49, 32-36.
- 澤田可洋・福井敬一・佐藤馨・二瓶信一・福留篤男 (1984): 1983年三宅島噴火前後に伊豆大島の体積歪計で観測された特異な現象, 火山, 2-29, 141-152.
- 石黒真木夫・佐藤忠弘・田村良明・大江昌嗣 (1984): 地球潮汐データの解析, 統計数理研究所彙報, 32, 71-85.
- 田中康裕・澤田可洋・中礼正明・福井敬一 (1984): 火山用体積歪計の開発, 気象研究所技術報告, 12, 132-143.
- 脇田宏・中村裕二・佐野有司 (1984): 東海地方におけるラドン観測 (1983年) - ラドン記録と歪記録との対比, 地震予知連絡会会報, 31, 350-356.
- 末廣重二 (1985): 体積歪計, 地震予知II, 学会誌刊行センター・学会出版センター, 235-286.
- 地震予知情報課 (1985 a): 東海地域の気圧計整備と気圧補正および異常判別処理, 気象庁地震火山技術通信, 61, 2-12.
- 気象庁地震予知情報課 (1985 b): 伊豆大島で観測された埋込式体積歪計による歪変化, 地震予知連絡会会報, 34, 191-199.
- 気象庁地震予知情報課 (1986 a): 東海・南関東地域における歪観測結果 (観測開始から1985年12月までの概要), 地震予知連絡会会報, 36, 271-275.
- 気象庁地震予知情報課 (1986 b): 伊豆大島で観測された埋込式体積歪計による歪変化(2), 地震予知連絡会会報, 37, 252-258.
- Furuya, I., Nihei, S., Fukudome, A., Yamagishi, Y., Takahashi, H., Uechi, K., Kamigaichi, O., Takeuchi, H., Hikawa, H., Sato, K., (1986): Analysis of Data Obtained by the JMA Borehole Volume Strainmeter Network, Geophys. Magaz., 41, 189-215.
- 古屋逸夫, 高橋清和, 二瓶信一, 岩崎貴哉, 島村英紀 (1986): 東海地方の地下水温と歪記録, 地震学会講演予稿集, 1986. 1, 150.
- 吉川澄夫 (1986 a): ボアホール式体積歪計と周辺媒質の相互作用(2) - 媒質の弾性定数の推定 -, 地

- 震学会講演予稿集, 1986.1, 29.
- 吉川澄夫 (1986 b): ボアホール式体積歪計と周辺媒質の相互作用(3)―応力変化量の試算と歪の経年変化に関する考察―, 地震学会講演予稿集, 1986.2, 52.
- 小泉岳司・吉田明夫・二瓶信一・高橋博 (1986): 湯河原体積歪計孔内での水位の連続観測, 地震学会講演予稿集, 1986.2, 150.
- 上垣内修 (1987): 体積歪, 傾斜データに対する気圧の影響の補正に関する物理的考察, 験震時報, 50, 1~9.

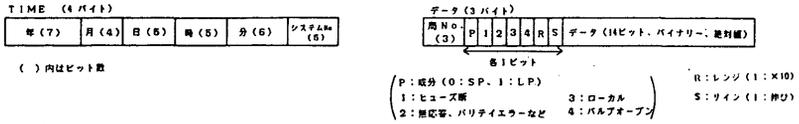
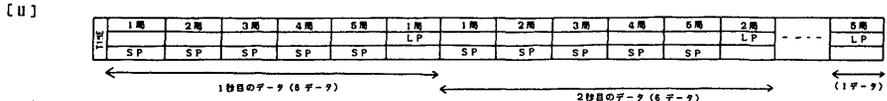


付図1. 地質柱状図と観測井構造  
 黒枠部はフルホールセメンティング (F型)

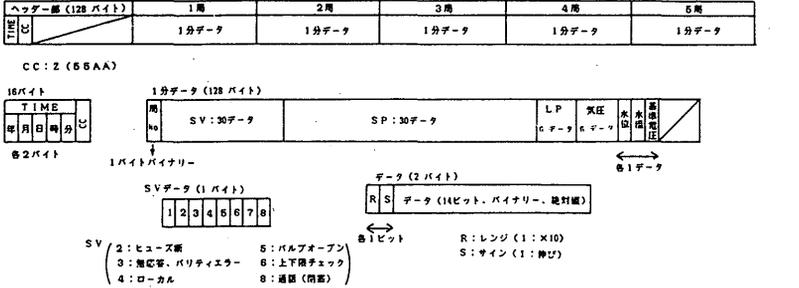


付図1. (つづき)

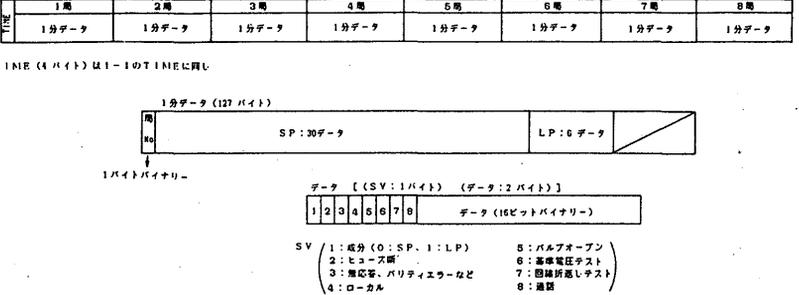
【I-1】 ← 1分/1レコード 1084バイト →



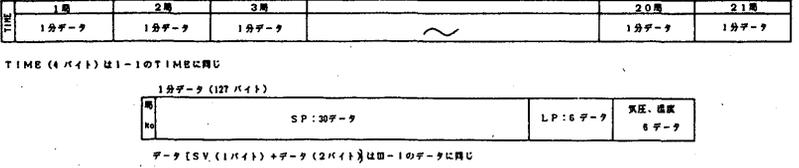
【I-2】 ← 1分/1レコード 768バイト →



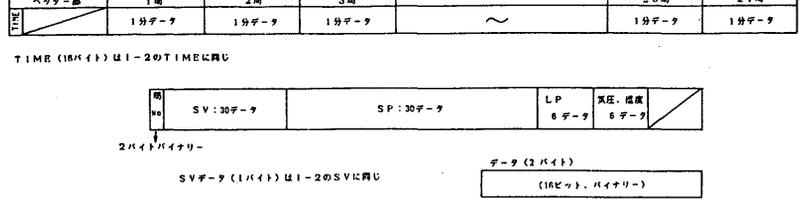
【III-1】 ← 1分/1レコード 1020バイト →



【III-2】 ← 1分/1レコード 2671バイト →



【III-3】 ← 1分/1レコード 2816バイト →



付図2. オリジナル磁気テープフォーマット