

地殻変動連続観測と埋込式歪計 (I)

観測部地震課*

550.34.03

目 次

はじめに

1. 地殻変動連続観測の意義
2. 従来の地殻変動の連続観測
3. 埋込式歪計システム

4. 東海・南関東地域における観測網の展開
5. 観測結果
6. 結 び

はじめに

気象庁は最近数年間、地震予知技術開発に大いに力をそそぐようになってきた。初めのうちは明治以来の日本付近の地震活動の調査の積み重ねが主軸であったが、次第に観測網の整備と共に現在の地震活動の推移にも関心が払われるようになった。そして最近では地震の前兆現象の把握ということによって、直接に地震予知問題に取り組むという事態にまで進展するようになった。

地震の前兆という、各種の現象があるが、そのうちでも地殻の急激な変動は重要な要素の一つである。気象庁は地震観測所での試験観測を経て、昭和51年度より東海地域5地点において、さらに翌52年度より南関東5地点および東海地区2地点において埋込式歪計による地殻変動連続観測を開始し、既にいくつもの地震予知につながる観測結果を得ている。

今回の大規模地震対策特別措置法の制定にもなつて、地震予知に関する気象庁の責任が極めて重くなったことにかんがみて、地震予知の観点から地殻変動連続観測の意義、埋込式歪計、その観測網より得られた成果等について述べる。

1. 地殻変動連続観測の意義

1.1 地震のメカニズム

地殻の一部に外から力が加わる。地殻は変形(歪(ひずみ))を起こす。この歪の度合いが約 10^{-4} (100mの棒の先が1cm撓(たわ)むことに相当)に達すると、地殻をつくっている岩石の強度の限界を超えることになって、破壊が生ずる。この破壊は断層の生成という形を

とり、そのとき地震波が発生する。つまり、断層の生成がすなわち地震の発生である。

この地震発生メカニズムが正しいことは、発生した地震波の解析と、地震前後にわたる地殻変動、つまり歪の解放状態を測量で確かめることによって、少なくともマグニチュード7程度以上の大地震については疑問の余地はない。

1.2 予知につながる地震現象の正しい把握

したがって、地震を地面の振動として観測するだけでは、地殻の破壊が生じた後だけを見ているだけで、決して地震現象の全貌の把握にはならない。地震エネルギーが歪の進行という形で蓄えられてゆき、遂に破壊に至る過程をも地震現象の一部として捕えねばならない。地震予知の立場から言えば、破壊の起こってしまった後の現象より、破壊前の段階の方が遙かに重要である。

この破壊前段階はいかなる過程から成り立っているのだろうか。今までの知識と経験を総合すると、

- (a) ほとんど一定に近い歪の進行
- (b) 限界点への到達
- (c) 本破壊への始動
- (d) 本破壊の発生

の過程があるのではなからうか。

(a)の部分は地震エネルギーの蓄積で、極めて緩やかに進行する。マグニチュード8クラスの太平洋岸沖の巨大地震の場合で100年から200年かかり、マグニチュード7程度でも内陸部の地震の場合は、さらに長年月を要するとされている。

(b)の部分は弾性限界に近づくので、もはや定常状態

* 末廣重二(観測部参事官)

ではなくなる。歪の進行も一定ではなくなる。しかし、この状態が現れてから本破壊までにはまだ時間がある。そしてこの猶予時間ともいべきものは、ダイラタンシ-理論によれば本破壊の大きさ、つまり地震のマグニチュードによると考えられている。

(c)の部分は本破壊の前駆部分である。本破壊は突然発生するものではなく、数日から短い時には数時間の前駆現象を伴うらしい。これは本破壊に向かって踏み切ったことであって、もう後戻りのない過程である。

このような過程を経るらしいことを示す、過去の大地震についての数多くの観察や観測の実例がある。残念ながら地震予知にとって最も重要な(b)と(c)のメカニズムはまだ明確ではない。地震波の発生と伝播のメカニズムがよく解明されているのに比べると、この部分の研究は遙かに遅れていると言わざるをえない。今後の地震予知技術の開発は、まさにこの部分を明らかにすることにかかっていると見えよう。

1.3 地殻変動の観測(地震発生への監視)

(a), (b), (c)の部分は振動現象ではない。もち論これらの過程で、小地震や微小地震の有無や消長が随伴現象として現れるが、本質的には歪の変化である。

(a)の部分は長年月の間ほとんど一定に進行すると考えられるので、測地測量の繰り返しが最も有効である。特にこの方法の特色は広い地域を空間的に覆うことができるので、エネルギーの蓄積範囲を突き止めて、将来起こるべき地震のマグニチュードを推定することが可能である。

(b), (c)の過程に入ると、現象の進行は時間的にも一定でなくなるし、空間的にも一様ではないことが確かめられつつある。こうなると、間欠的な測量の繰り返しだけでは、重要な情報は見逃がしてしまう。どうしても、歪の変化を連続的に観測する必要がある。事実、過去の前兆現象の実例のうち、特に短期予知に重要な(b), (c)の過程のうちのいくつかは、地殻変動連続観測あるいはそれに準ずるものによって突き止められていることは、連続観測の不可欠性をよく表している。

1.4 短期予知と地殻変動連続観測

(a)から(b)さらに(c)の過程に進むにつれて、歪変化の速度は加速されるし、時間的、空間的な一様性が乱れていくようである。特に(c)の過程に入ると、1872年の浜田地震や1944年の東南海地震などの直前に見られるように非常に急激な変動が起こっている。

以上から考えて、(a)の過程の監視は全面的に測量の

繰り返しに頼る、(b)の監視は測量の繰り返しを連続観測によって補う、そして(c)の段階に入ったことが検知された後、短期予知の極め手は連続観測による以外にならざるを得ないであろう。

1962年に「地震予知——現状とその推進計画」といういわゆるグループプリントが出た時に、地殻変動連続観測に与えられた役割は、

- ① 測地測量の時間的間隙を連続観測でつなぐこと。
- ② 本破壊発生に伴う歪の解放を観測して、地震のメカニズムを研究すること。

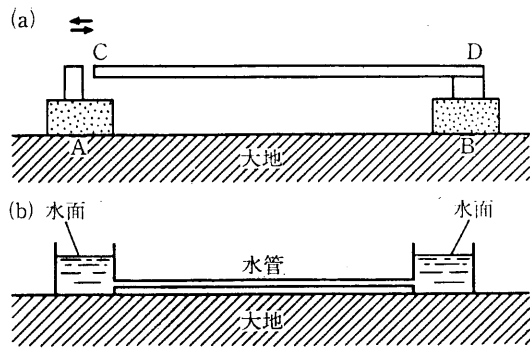
の2点にあった。

これらについては後に述べるように相当の成果があげられたが、将来はこの2点だけではなく(c)の過程の解明が加わったと言える。地震現象は一時代前に考えられていたような突発的なものではなく、数日から数時間という長さの本破壊への始動現象が前駆する。この過程の検知と解明は地震発生メカニズムを知り、有効な地震短期予知を可能とする鍵であって、地殻変動連続観測に課された新たな大命題である。

2. 従来の地殻変動の連続観測

2.1 観測の方法

連続観測の歴史は古いが、観測対象とされたものは、当初から地盤の伸縮と傾斜であった。通常の場合、両者とも変化の量は極めて小さく、伸縮にして 10^{-7} (100 mの棒が100分の1 mm伸縮することに相当)、傾斜にして0.1" (100 mの棒の先端を0.05 mm上下することに相当)程度である上に、変化の起こり方も日単位、月単位という程緩慢である。したがって、有効な感度をもって安定に観測できる測器の開発には容易ならぬ努力と忍耐を要した。結局50年におよぶ研究と観測の結果、水晶管伸縮計と水管傾斜計を主力測器とする横坑式観測が標準的なものとして認められるに至った。前者は水晶の棒を物尺として地盤の伸縮を直接測定する測器であり、後者は連通管の原理によって、長い水を満たした管の両端での水面の高さを比較することにより地盤の傾きの変化を検出する測器である(第1図参照)。これらの測器は水晶棒なり水管の長さが長い程感度が高くなるのであって、最低20~30 mは必要である。また両者とも温度変化による影響を低く押えるため、この横坑を相当深く掘削して何重にも外気を遮断し、温度一定の環境を作った部分に設置しなければならない。第2図に観測用横坑の一例を示す。



第1図 水晶管伸縮計(a)と水管傾斜計(b)の原理図

このような横坑式観測所の建設は、地点選定までを含めて、決して容易なことではないが、現在全国で約30か所の観測所が整備された。松代の地震観測所はこの両者ともそなえていて、その大坑道は世界一の規模である。

2.2 現在までに得られた成果

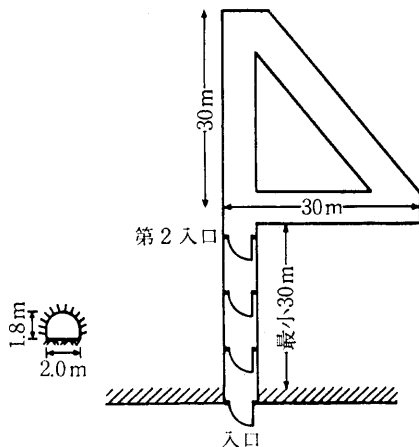
これらの観測所での長年の連続観測の結果、われわれの知見は大きく前進した。

(1) 測量との補完性

まず測量との補完性については、松代、南関東、犬山、松山、新潟等において、測地と連続観測の結果の比較が行われて、定性的な一致が見いだされている。これは地殻変動連続観測の安定性を示すと共に、1点観測でも地震現象の歪の進行(a)の監視に有効であることをも示している。

(2) 直前の異常の検出

次に、従来の測量の繰り返しにはほとんど期待できない部分、すなわち臨界点への到達(b)と本破壊への始動



第2図 観測横坑の一例

(c)に関連する部分についてである。現在まで地震の前兆ではないかという例は相当数報告されている。地震発生の数時間前から直前にかけて、地殻変動あるいはそれに準ずる観測で、前兆と思われるものが見いだされた例は、

関東地震(1923年)	傾斜変化
鳥取地震(1943年)	傾斜変化
東南海地震(1944年)	傾斜変化
岐阜県中部の地震(1969年)	歪と傾斜変化

がある。また直前ではないが、長きは数年、短きは数日前から異常と思われる変化が観測された例は、

大聖寺沖地震(1952年)	傾斜変化
吉野地震(1952年)	歪と傾斜変化
大台ヶ原地震(1960年)	歪と傾斜変化
日向灘地震(1961年)	傾斜変化
新潟地震(1964年)	傾斜変化
秋田県東部の地震(1970年)	傾斜変化
渥美半島沖の地震(1971年)	歪と傾斜変化
根室半島沖地震(1973年)	歪と傾斜変化
和歌山県中部の地震(1973年)	歪変化
伊豆半島沖地震(1974年)	歪変化
愛知県南岸の地震(1975年)	歪変化
山梨県東部の地震(1976年)	歪変化
浜松付近の地震(1976年)	歪変化

がある。さらに松代群発地震(1965年)の際に、急激な傾斜変化が地震活動の増加に先行することが観測されているし、山崎断層付近の小地震に歪変化が先行することも報告されている。

このように、観測所の数が増加した最近の5年間をみると、ある程度以上の地震が起こると、必ずといってもよいくらいに地殻変動の前兆現象が、どこかの観測所で観測されている。

(3) ストレインステップ*

また直接地震の短期予知ではないが、地震現象の解明に役立つものとして、本破壊に伴うストレインステップの観測がある。1969年の岐阜県中部の地震について約16の観測点でストレインステップが観測され、ステップの観測から震源過程を推定することに希望がもてるようになった。

(4) 移動性地殻変動の発見

さらに、移動性地殻変動の発見も連続観測成果の一つ

* 極めて短時間に生ずるステップ状の歪変化で、地震発生による歪の解放に原因することが多い。しかし、地震を伴わない場合もある。

である。この種の現象が最初に見いだされたのは、1960年代の油壺と鋸山の水管傾斜計の観測に基づくものであった。その後東北地方の観測所群や、遠くはペルーの観測からも報告されている。移動といっても速度は年にして20~40 km というオーダーであって、現在のところ地球物理的解釈は極めて困難である。しかし、地震発生への過程で述べたように、(b) 過程から後はもはや定常的な現象ではないことと、関連があるのではないだろうか。

(5) 変動検知能力

横坑式観測でのノイズの大きな原因に、降雨と湧水がある。しかしこの影響は場所によって一定しない。伸縮の場合 10^{-6} のオーダーに達することもあるし、それが現れるには数日程度の遅れがある場合もある。これも、小地震の多発する地域では、逆に一種のシグナルであって、予知情報の一つであるという見方もある。従って、地震の場合のように、定量的な検知限界を一般的に示すには問題があるが、笠原慶一* のいう実用的な検知限界は、第1表のようになる。

第1表 実用的に見た検知限界

変動の種類	傾 斜	伸 縮
瞬間変動 (ストレイン ステップ等)	0.1~0.01"	10^{-7} ~ 10^{-8}
周期変動 (時~日)	0.01~0.001"	10^{-8} ~ 10^{-9}
永年変化	1~0.1"/年	10^{-6} ~ 10^{-7} /年

結局、数時間から数日前の直前異常の検出限界は伸縮にすると 10^{-7} 前後であろう。

2.3 現在の横坑式の観測方式のもつ問題点と将来への発展方向

(1) 空間的分布について

地殻変動は当然のことながら、決して一様ではないが、時間的にも空間的にも連続性をもっている。測地測量は空間的には広くカバーできても、時間については間欠的である。これを補完することは連続観測の大きな目的の一つであるが、観測点の空間的分布の密度が現在のように低くは、その目的は十分に達せられているとは言えない。地震予知計画の発足以来、観測所の数は増加し、前述のようにある程度以上の地震の場合には、どこ

かの観測点で何らかの前兆と思われる異常が観測された例は急激に増えてきた。

しかし、観測点の位置はかならずしも至近距離ではないし、前兆を捕えた観測点の数も1点かせいぜい2点である。また前兆の現れ方もそれぞれ異なっている。従ってここが重要な点であるが、地震が起こってしまったから、さかのぼってこれが前兆であったという、いわゆる「後予知」はできても、事前に地震に関連する異常であると判定することは、極めて困難である。有意の予知を行うためには、異常が少なくとも数点で観測されて、異常の信頼性が増すか、テストフィールド的研究によって、1点であっても観測例が多数あって経験則がある程度でき上っているかのいずれかが必要である。しかし被害地震は同じ地域に頻繁に起こるものではないから、観測点の分布密度を増加させる以外にはないであろう。

狭義の地震観測は伝播性のある地震波が対象であるから、観測点の感度が高ければ、1点でもその能力は相当な空間的広がりをもっている。しかるに、地殻変動の場合はまさにそのごく近傍の変動だけをみているので、その空間的代表性には限界がある。日本のように地殻構造の複雑なところでは、地殻変動の空間的一様性の保たれているのは、せいぜい一辺10~20 km 程度のブロック内ではないかとも言われている。

地震予知の上で注目されている地域における精密測地網が、8~10 km メッシュを実行に移しつつある以上、連続観測も同程度の密度を考えるべきではなからうか。ストレインステップや移動性地殻変動の研究の将来も、この観測点の密度に大きくかかっている。

(2) 時間的分解能について

昔は地殻変動は極めて緩慢にしか起こらないという固定観念があった。したがって、連続観測でも記録紙の送り速度は非常に遅く、1週間1回転の円筒を用いて、記録紙の長さ30 cm というのが標準だった時代もある。これでは、せいぜい時間単位で変化がいえる程度である。もっとも地殻変動のうちで一番急激なものは地殻潮汐であって、それ以上急速な変化はほとんど考えられていなかった。

しかし、本破壊への始動が始まってからは、地殻変動は相当急速に進行するらしい。1872年の浜田地震については、地震の約20分前に海岸の急激な隆起が観察されたことが後に浜田測候所から報告**されている。これらの

* 1973年地震予知研究シンポジウム。

** 浜田測候所「明治五年旧二月六日浜田地震」(大正元年11月)。

現象に対しては、分単位の分解能をもつ観測が必要である。さらに、地震に伴うストレインステップについても、急激な現象という認識はあったものの、もっぱらステップの方向と量が議論されて、その時間的な微細構造には触れられていない。このためには秒単位の時間的分解能を必要としよう。

以上を考え合わせると、最近の観測はデジタル化されるなど近代化がなされているが、観測目的によっては、時間的分解能の点で十分とは言えない。

(3) 感度について

歪の蓄積過程を含めて、地震現象を支配する法則を明らかにすることが、予知への正道であることは論をまたない。このためには、連続観測が必要で、地震についての観測例を一つでも多くすべきことも当然である。一方大地震はまれにしか起こらない。網の目を細かくして観測するとしても、マグニチュード4程度までの地震を対象としなければ、十分な観測例をかせぐことはできないであろう。

しかし、地震が小さくなれば、関連する諸現象の変化量とその空間的拡がり是对数的に減少する。したがって、観測の感度を上げることがどうしても必要である。現在、坑井式の歪計などでは、周期1時間までの帯域なら測器固有のノイズを 10^{-13} 程度におさえられるものも開発されている。

将来は、地震計測の分野で詳しく調べられているように、各種の測器についてインストルメンタル・ノイズを周波数別に調べるべきである。同時に、バックグラウンド・ノイズに相当するものも、周波数別の分布を調べるべきである。こうすれば、地球物理的に重要でしかもSN比のよい帯域が新しく発見される可能性があると考えられる。

(4) 記録方法について

今までの連続観測は地殻変動の性質を明らかにするために、長年月かかってじっくり取り組むという、やや静的な面が重要視されてきた。もち論この面は今後も続けられねばならないが、これまでの成果に基づいて、地震の予知、それも特に直前の短期予知に活用しようということになると、異常現象を地震の起こる前に発見して、その異常を検討しなければならぬ。直前の異常から地震発生まで数時間しかないことが多い。

この点からして、記録方法は観測結果の常時監視に適した方式に変えてゆかねばならない。すでに、各大学においては微小地震のテレメーター化と共に、地殻変動の

連続観測も複数の点を中枢にテレメーターして集中記録することが開始されている。最近気象庁が東海と南関東に展開した歪観測網については、最初からこの方式を採用している。今後この方式はさらに効率化、自動化されねばならない。

3. 埋込式歪計システム

3.1 目的

従来までの地殻変動の連続観測の問題点を解決して、新しい面を開くために、次の特徴をもった新しい歪計システムが開発された。

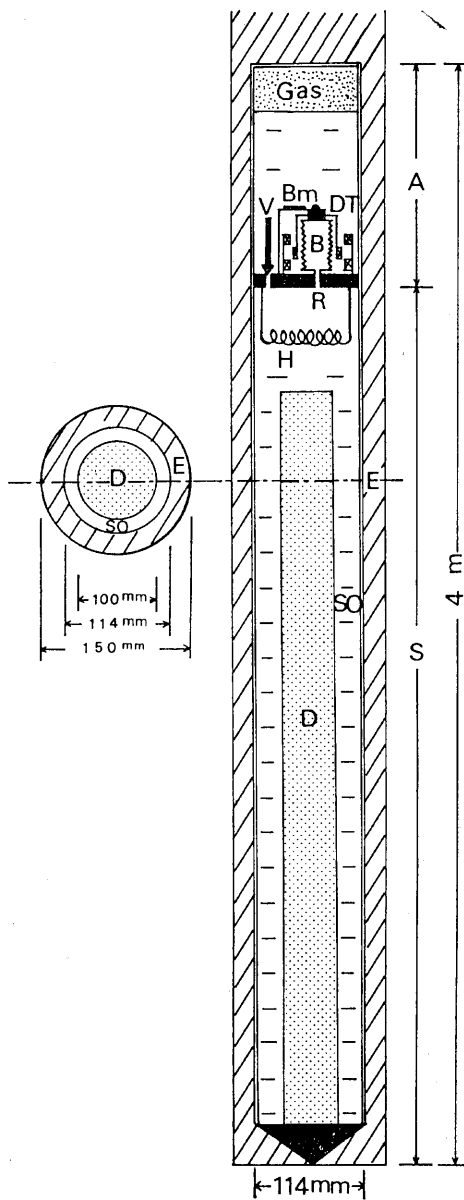
- (i) 観測網が作り易いように、設置が簡単で、テレメーターに適している。
- (ii) 感度が高い。
- (iii) 地殻変動のうちには急激な変化もあるので、観測値の時間的分解能が高い記録方式を用いている。
- (iv) 測器の安定性が高く、測器自体には初期ドリフトはない。地震の際相当大きな加速度にさらされても、測器の正常な動作に影響がない。

上記の特徴をもった歪計の観測網が稼動を開始したので、まず地震短期予知のための前兆現象の捕捉に大きく寄与すると思うが、その他ストレインステップや長周期地震計として長周期地震波の研究にも有効である。永年変化に対しては、まだ観測期間が不十分であるが、相当の力を発揮することが期待される。

3.2 測器の原理

岩盤内に直径約15cmの観測井を垂直に掘削する。深さは50mから200m程度である。掘削は石油採掘井や地質調査用コアボーリングの技術を用いるので、簡単かつ安価であり、地上の観測施設占有面積も僅かですむ。この観測井の底部に第3図に示すような外径114mm、肉厚3mm、長さ約4mのステンレスパイプをセメントで周囲の岩盤に固着する。この際膨脹セメントを用いるので、ステンレスパイプは常に一定の圧力下において、周囲の岩盤の収縮・膨脹に追従するようになっている。

パイプの下部335cmの受感部(S)は真空蒸溜したシリコン油で完全に満たされている。但し歪変化による受感部分の変形は極めて僅かであるので、地下100m以下における温度変化はほとんど考えられないが、慎重を期して歪計の温度係数を下げるため、Sの約80%はステンレスのダミーブロックで充填してある。上部には隔壁があって、それに断面積 0.063mm^2 、長さ20mmの隘路(R)があげられている。その上部は上下に伸縮自由な



第3図 埋込式歪計原理図

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

ベローズ(B)に通じている。

隔壁より上の部分も同じシリコン油で満たされているが、ベローズの内外は完全に分離されているので、BとS内のシリコン油とA部分のシリコン油は完全に独立である。但し、Aの上部には1気圧の不活性ガス(アルゴン)で満たされた気体空間(容積約550cc)がある。従ってA部の油は上部に自由表面をもっている。

今、周囲の岩盤に収縮が生ずると、それによってSの

部分もほとんど同じく収縮して、容積の減少に見合うシリコン油はしぼり出されて隘路(R)を通してベローズ(B)の中に入る。

Bに流入したシリコン油の体積を Δv 、Bの有効断面積を Ba とすると、Bの上部は $\Delta v/Ba$ だけ持ち上げられる。周囲の岩盤に膨脹が生じた時は、すべてこの逆でBの上部は $\Delta v/Ba$ だけ下がる。

今第4図のような系で、周囲の岩石の歪変化に起因する歪計内部体積変化を ΔV とし、この際当然シリコン油に対する圧力変化も生ずるので、油の圧縮性による体積変化を ΔV_1 とすれば、ベローズを変化させる体積変化 Δv は $\Delta v = \Delta V - \Delta V_1$ となる。

従って

$$\Delta V - \Delta V_1 = Ba \cdot \Delta x \quad (1)$$

が得られる。(但し、 Δx はベローズの上下変位。)

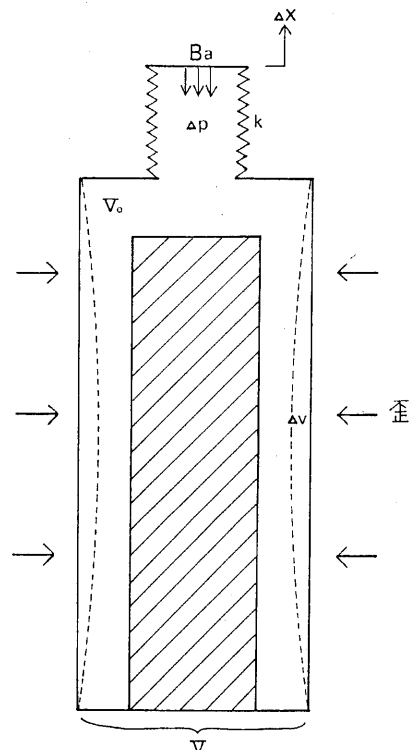
またシリコン油の圧縮による体積変化は

$$\Delta V_1 = \beta V_0 \cdot \Delta p \quad (2)$$

が得られる。ここで β :シリコン油の圧縮率(cm^2/kg), Δp :内圧力の増(kg/cm^2), V_0 :シリコン油の総量、である。

$$\Delta p \cdot Ba = k \cdot \Delta x$$

(但し k はシステムのパネ定数で、後述のベローズと



第4図 埋込式歪計模式図

バイモフの弾性係数による) から

$$\Delta p = \frac{k \Delta x}{Ba} \quad (3)$$

(2), (3) 式から Δp を消去すると

$$\Delta V_1 = \frac{\beta V_0 k}{Ba} \cdot \Delta x \quad (4)$$

が与えられ, (4), (1) 式から

$$\Delta V = \left\{ Ba + \frac{\beta V_0 k}{Ba} \right\} \Delta x \quad (5)$$

が得られる.

周囲の岩石歪による歪計の体積歪 E_V は

$$E_V = \Delta V / V \quad (V: \text{受感部 } S \text{ の体積})$$

であるから

$$E_V = \left\{ Ba + \frac{\beta V_0 k}{Ba} \right\} \Delta x / V$$

となる.

なお, 歪計パイプの上面・下面は相当に厚いスラブで閉じられている. また周囲の岩石との剛性上の整合性もあるので, $\Delta V / V$ が定量的に周囲の歪に等しいとは言えないが, 後述のように定性的には十分に岩盤の体積歪を表している.

本埋込式歪計においては

Ba : ベローズの有効断面積	1.948 (cm ²)
V : 受感部の総体積	3.07×10^4 (cm ³)
β : シリコン油の圧縮率	1×10^{-4} (cm ² /kg)
k : 変換器のバネ定数	1 (kg/cm)
V_0 : 受感シリコン油の総体積	5.43×10^3 (cm ³)

であるから

$$E_V = \left\{ 1.948 + \frac{10^{-4} \times 5.43 \times 10^3 \times 1}{1.948} \right\} \times \Delta x / 3.07 \times 10^4 = 7.3 \times 10^{-5} \cdot \Delta x$$

従って体積歪の変化 *Strain* と B 上部の上下動 Δx (cm) との間には,

$$Strain = 7.3 \times 10^{-5} \cdot \Delta x$$

の関係がある. 従って, 10^{-8} の歪変化は B の上下動 1.4μ に相当する.

3.3 変換器

B の上下動を検出するには 2 通りの変換器を設けている. 第 1 は差動変圧器 DT で, 使用周波数は 4 kc, 電子回路はすべて地上にある. 増幅器は, 温度変化によるケーブルの直流抵抗や線間容量の変化が影響しないよう

に, 1 次コイルは低インピーダンス, 2 次側では電流検出の方法をとっている. 出力整流後の直接出力は B の上下動 1 mm (歪変化にして 7.3×10^{-6}) 当たり 1 V である. 周波数特性は周期無限大までフラットである.

第 2 の変換器はバイモフ (Bm) と称する板状のジルコン酸鉛の圧電素子を 2 枚張り合わせたもので, 撓みに対して大きな起電力をもっている. 45 mm の長さの一端を 1 mm 撓ませることにより, 24 V を生ずる. Bm は機械的には板バネであるので, B の運動を上下方向のみに束縛する作用も兼ねている. ただし, 周波数特性は周期約 25 分までフラットで, それより長周期の変化に対しては, 歪の変化速度に比例した出力を示す. つまり速度特性となる.

この 2 種の変換器のうち, DT は時間単位の変化から永年変化までの長周期変化を対象とし, DT より約 100 倍感度の高い Bm は地震波記録から潮汐までの帯域の比較的短周波の変化を対象としている.

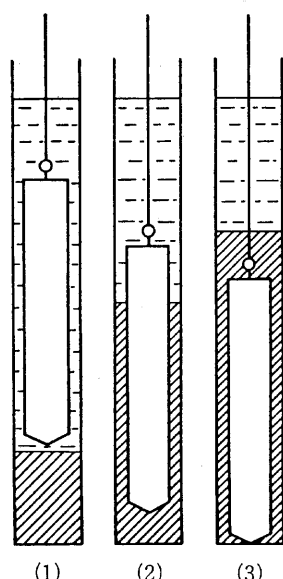
3.4 観測井孔底における固定方法

周囲の岩盤からの歪変化が忠実に歪計に伝えられるためには, 歪計と岩盤との間はセメントで完全に満たされて一体化が実現していなければならない. さらに, 岩盤が膨脹の際にも歪計がとり残されることなく追従するためには, 歪計に初期の縮み歪が与えられていて, 岩盤と歪計の間には常につばりの力が作用していることが必要である. このため固まる時に化学的に膨脹するセメントを用い, 約 0.5 kg/cm^2 の初期のつばりの力が生ずるようにしてある.

歪計を設置する観測井の孔底は, 掘削された岩盤のままの裸孔で, 地表近くに軟弱な部分があれば, 鉄製の保護パイプ (ケーシングパイプ) を挿入して崩壊を防ぐ. 裸孔部分は掘削くずを除くため十分に清水で洗っておく*. 次に, セメント, 膨脹剤, 砂, 水を適量ずつ配合してよく混ぜ, モルタルをつくる. この時点でモルタルは流動性に富み, 比重は約 2.5 である. このモルタルを筒状の容器に入れて, 清水で満たされている観測井中を静かに降下させる. 容器の底部にはバルブがあって, 着底と同時に自重で自動的に開く. 次に底の開いた容器を徐々に引き上げると, モルタルは容器から流れ出して, 水と混ざることなく, 水を押し上げて孔底にモルタル柱を形成する. この際セメントと砂の分離は起こらない.

容器を引き上げてから, 歪計本体を降下させる. 歪計

* 日本では, 観測井を掘削すると, 通常地下水の浸出により孔中は水で満たされる.



第5図 孔底における固定方法

の比重は内部がほとんど鉄であるため約5.0あるので、自重により流体状のモルタル中に没入して(第5図)、完全にモルタルでつままれて着底する。最終状態でモルタルは歪計上部に約1mかぶる。モルタルの強度は固化した後は400~500kg/cm²の強度をもつ。

これら一連の設置作業は、地上において観測井と同じ内径の透明の筒と、他はすべて実際と同じものを用いてテストを行うことにより、実際は視認のできない観測井の孔底で、期待通りのことが起こっていることを確認してある。

事実、埋設後24時間経過すると、モルタルの膨脹による急激な縮みの歪変化を記録し始めるが、それと同時に脈動による10⁻¹⁰のオーダーの歪変化をも記録し始めるので、歪計と周囲の岩盤の一体化が成功していることは確実である。

3.5 積算値の確認と大動作域の確保

BmとDTの両変換器について、余り大きく変位させることは直線性の上からも限界があるので、ベローズの上端は中立の位置よりそれぞれ1.5mmのところストップパーが設けてある。これは歪変化にして1×10⁻⁵に相当する。従って歪の積算値がこの量に達すると、それ以上の同じセンスの歪変化は検出できなくなる。

さらに大きな歪変化も測定できるように、この限界値に近くなったときに、平常時には隔壁にあるもう一つの開口部を8.7kg/cm²以上の圧力で閉ざしている電磁バルブVを遠隔操作で開ける。これにより受感オイルSは隔壁上部の自由表面をもつオイルAと短絡して、振動系

をなしている変換部を変位させている流体圧は零になるので、変換部は直ちに機械的零位置に戻る。この後バルブを閉じれば、すべては零から再出発することになる。受感部Sの容器は3.07×10⁴ccであるので、岩石の破壊が始まるとされている10⁻⁴の限界歪に相当するシリコン油の移動量は3cc程度である。これは最上部の気体の容積の100分の1以下に過ぎない。従ってバルブの開閉を繰り返すことにより、岩石の限界歪以上の歪変化を測定することができる。

このバルブ開閉は単に動作域の拡大のためだけではない。機械的零位置から出発して、ある時点まで電氣的に計測された歪の積算値が正しければ、バルブを開くことによる零位置への戻り量と一致するはずである。もし直流アンプ等に電氣的ドリフトがあれば、この操作により検出できる。つまり、歪変化量の大小にかかわらず、永年変化の確認が行える。

現在は、歪積算値が5×10⁻⁶に達した時か、あるいは6か月を経過した時にバルブの開閉を行っている。開閉時の戻り量とそれまでの積算値は常に10⁻⁸/month以下のオーダーで一致している。これは電気回路を含めて、システムが安定に作動していることを示す。なお、バルブ開閉毎に検出されるドリフト量は、たとえ僅かでも永年変化値の補正に用いている。

3.6 変換部の安定性

ベローズのバネ定数は僅かであるが、板バネとしてのバイモフBmの定数は遙かに大きいので、総合的に変換部のもつバネ定数は100g/mmである。可動部分の質量は約20gであるので、振動系としての周期は0.029秒と短い。さらに全体が粘度10センチストークスのシリコン油の中に浸されているので、DTの2個のコイルがダッシュポット型の制振作用(h=1)をするので、機械的安定度は高い。実際の動作時にはS部のシリコン油のもつ圧縮性も復元力として作用するので、総合的固有周期は更に短いものとなる。従って、測器そのものに起因するドリフトは考えられないし、これは観測によっても確認されている。

3.7 強震に対する安定性

埋込式歪計を設置した地点が強い地震動を受けると、歪計は地震波による短周期の大きな歪変化を受ける。

$$\text{歪変化} = \text{地動の速度振幅} / \text{地震波速度}$$

であるので、震度IV位になると10⁻⁵の短周期歪変化が加わる。このような時、歪計の動作が不安定であると、地震に伴うストレインステップの観測に支障を生ずる。

このような短周期の大きな歪変化から変換器部分を防護するために、隘路Rが設けてある。この部分の流体抵抗とシリコン油のもつ圧縮性がCRフィルターのよう作用して、時定数約6秒(感度66%に低下)のハイカットとして作用する。埋込式歪計の松代地震観測所における試験期間中に、爆薬によって震度V程度の振動試験を行ったが、動作に不安な点はみられなかった。

3.8 短期的安定性

短期的安定性を確かめるために、銚子観測点においてバルブを開放したまま1か月間放置した。これは信号入力側を短絡して、入力を零にしたことに相当する。この際のDTのドリフトは歪にして 5×10^{-8} の目盛では全然認められなかった。Bmについては地上の電子回路部分に内蔵されている恒温槽ヒーターの点滅による周期約1時間で歪相当 1×10^{-9} の揺ぎがあるが、零線の移動はなかった。

これよりさらに短期の数秒から1時間の帯域の歪計の測器固有のノイズは、DTについては歪相当 5×10^{-11} 以下であり、Bmについては 1×10^{-12} 程度である。

3.9 長期的安定性

埋込式歪計の試験観測は1970年12月松代地震観測所で開始された。その直後1971年1月の西ニューギニアの地震について歪計による記録と振り型地震計による記録の比較を行い、同様のことを6年後の1977年1月のニューギニアの地震について行って見たところ、感度に変化は認められなかった。この事実は歪計と周囲の岩盤との結合状態と内部の機構が、この程度の期間では変化していないことを示している。

3.10 水晶管式伸縮計との計測上の相違点

横式式の観測方式においては、山腹にトンネルを掘るということによって、岩盤の状態を変えている。従って応力分布が定常状態に達するまで、測器とは無関係に一定の過渡期間を要するようである。しかし、水晶管式伸縮計による観測そのものは、岩肌に水晶製の物尺を当てるだけであるから、観測自体が対象物に影響を与えることは全くない。

一方、埋込式歪計は周囲の岩盤と一体となって、共に収縮膨脹を行うものであるから、両者間の整合性が問題となる。埋込式歪計の見掛けの固さは岩石のものとオーダーが合うように設計されているが、周囲の岩質によっては、必ずしも同じとは限らない。岩石の固さが歪計より大きくなれば、裸孔の場合に近づくので、観測される歪量は真の値より大きくなる。逆の場合には「こんにゃ

く」の中に埋め込んだ場合に近づくので、真の値より小さくなる。

歪計は内蔵しているヒーターから短時間発熱させることにより受感オイルを熱膨脹させて、実効的に 10^{-8} のオーダーで変換器の動作と感度を検定できる装置をもっている。しかし、周囲の岩石まで含めた総合検定装置はない。この点が解決されないと、観測結果の定量的議論は困難かもしれない。

しかし、現在までの埋込式歪計による地殻潮汐、海洋潮の影響、遠地地震表面波等の記録や松代における水晶管伸縮計との比較からみて、真の地殻体積歪の2倍から0.5倍の量を記録していると考えられる。オーダーが異なるようなことはない。

この歪計システムの展開の第1の目的は、比較的急激な前兆現象の把握にあるので、この点では問題はない。現在までのところ連続観測による歪変化量に関する議論は、永年変化を含んで、厳密に定量的なものはない。将来は当然定量的に検討することが必要となってくるが、それまでには埋込式歪計に関する各種の記録の解析により、総合的感度が明らかにできると思われる。

4. 東海・南関東地域における観測網の展開

第6図と第2表に示す通りに埋込式歪計による観測網を展開した。BmとDTの出力はすべて東京の気象庁にテレメーターされて、各点ともBmは1秒毎、DTは5秒毎の値がコンピューター用の磁気テープに記録される。また可視記録としてBm、DT共に30秒毎の値を、観測点を色別にして打点式記録計に書かせている。

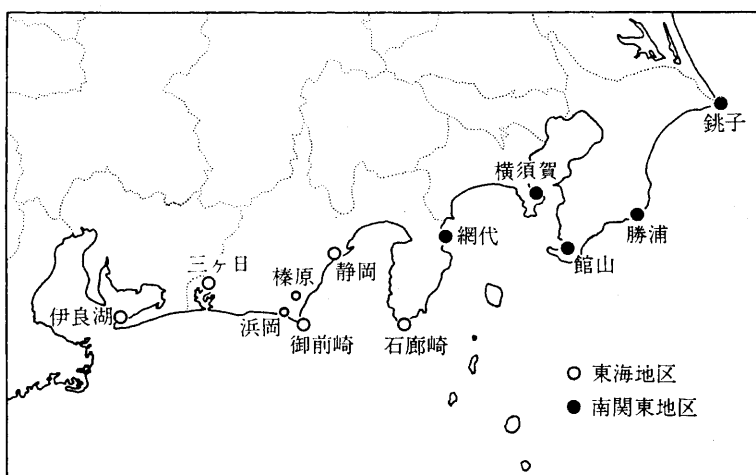
感度はBmについて $5 \times 10^{-9}/V$ 、DTについては $5 \times 10^{-7}/V$ である。磁気テープ上では0.1mV単位で、可視記録上では1V/8mmで記録している。

東海5点と南関東5点は独立のシステムで、各点の呼び出し、観測値の読み取り、AD変換、伝送、テープ書き込みはすべて中枢のコンピューターが制御している。さらに、動作状態の監視、障害時のアラーム、動作記録のプリントアウトの外に、観測値が一定の規準を超える異常値を示した時にもアラームを発することも中枢制御コンピューターが行っている。これによって観測網の各点は常時監視体制の下におかれている。

5. 観測結果

5.1 地殻潮汐と永年の変化

第7図に銚子におけるDTによる地殻潮汐の記録を示



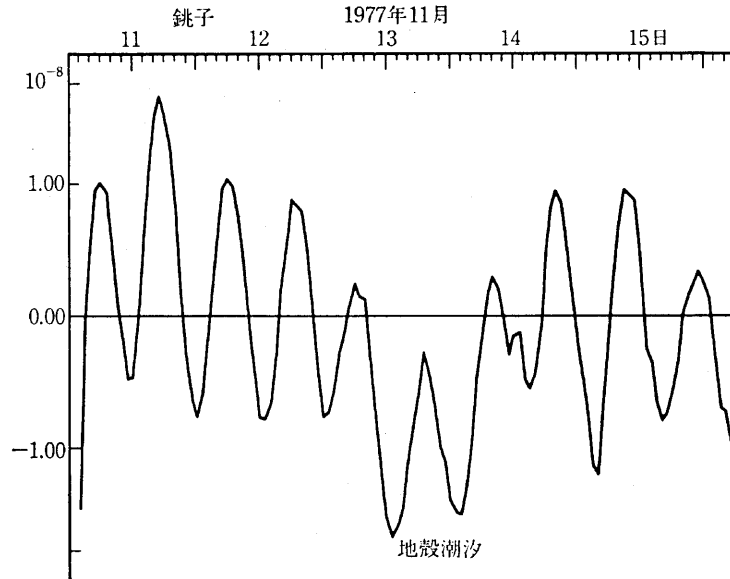
第6図 埋込式歪計展開図

第2表 埋込式歪計観測網

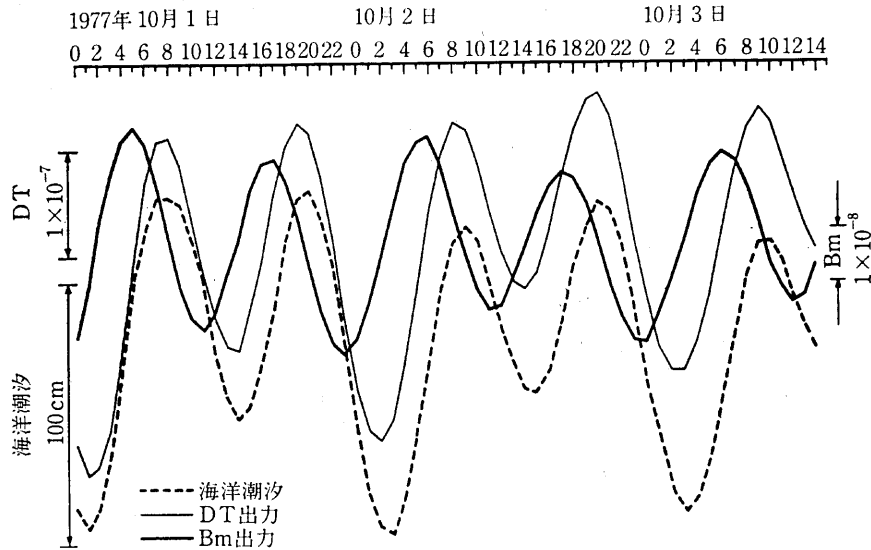
場所	深さ	設置年月日	観測開始日	記録方式 (現地)	記録方式 (東京集中)	隣接点間の距離	岩質
伊良湖	141 ^m	1975. 9. 5	1976. 4. 1	アナログ連続 2.5cm/時	打点可視とディ ジタル・テープ	54 ^{km}	黒色片岩 (古生層)
三ヶ日	51	" 10. 11	"	"	"	56	粘板岩 (古生層)
浜岡	250	1977. 2. 21	1977. 5. 12	"	打点可視	10	泥岩 (第三紀)
御前崎	208	1975. 11. 1	1976. 4. 1	"	打点可視とディ ジタル・テープ	15	泥岩 (第三紀)
榛原	250	1977. 2. 23	1977. 5. 12	"	打点可視	30	泥岩 (第三紀)
静岡	60	1975. 11. 19	1976. 4. 1	"	打点可視とディ ジタル・テープ	56	砂岩 (古第三紀)
石廊崎	133	1976. 2. 2	"	"	"	55	安山岩 角礫岩
網代	120	" 9. 2	1977. 4. 1	"	"	60	玄武岩 溶岩
横須賀	146	" 9. 8	"	"	"	30	泥岩 (新第三紀)
館山	190	" 8. 4	"	"	"	45	泥岩
勝浦	180	" 9. 21	"	"	"	78	泥岩 (新第三紀)
銚子	100	" 12. 24	"	"	"		砂岩 (古生層)

す。第8図は石廊崎における歪変化と海洋潮汐で、歪変化の振幅は 10^{-7} のオーダーに達している。この周期に対しては B_m は速度特性を示すので、両者間には $\pi/2$ の位相のずれがみられる。石廊崎は海中に突き出した岬の先端にあるため、潮汐による海水の“のしかかり”が大きく影響している。歪との間には図に示されるように時間の遅れはない。

第9図に10地点における観測開始以来の結果を示す。伊良湖、石廊崎、銚子は変動が小さいか、あるいはほとんどない。三ヶ日は変動が大きく、その他はいずれも相当大きな縮みの継続を示している。埋込地点の岩質をみると、変動の小さいところは古い固い岩で、縮みの激しいところは新しい泥岩である。観測井の掘削後東海地域で約3年、南関東地区では約2年しか経過していない



第7図 銚子における地殻潮汐 (DT)



第8図 石廊崎における地殻潮汐 (DT と Bm) と海洋潮汐

気圧係数： $0.8 \times 10^{-8}/\text{mb}$. 海洋潮汐による歪変化係数： $0.24 \times 10^{-8}/\text{mb}$.
歪計は海面下約80mに設置されている。

(1978年11月現在) こと、測器自体にはドリフトの原因はないこと、岩質の固い銚子等では最初から永年変化はほとんどないことなどから考えて、新しい泥岩地域で観測されている大きな縮みの進行は、真のものではなく周囲の岩圧によるクリープ、つまり“穴つぶれ”現象であろう。

歪計は孔底において、モルタルで周囲と一体化してあるので、この“穴つぶれ”はいつまでも続くものではなく、いずれは止まるはずであるが、その時期は今後の結果に待つ以外はない。御前崎では既に縮みは減少しつつ

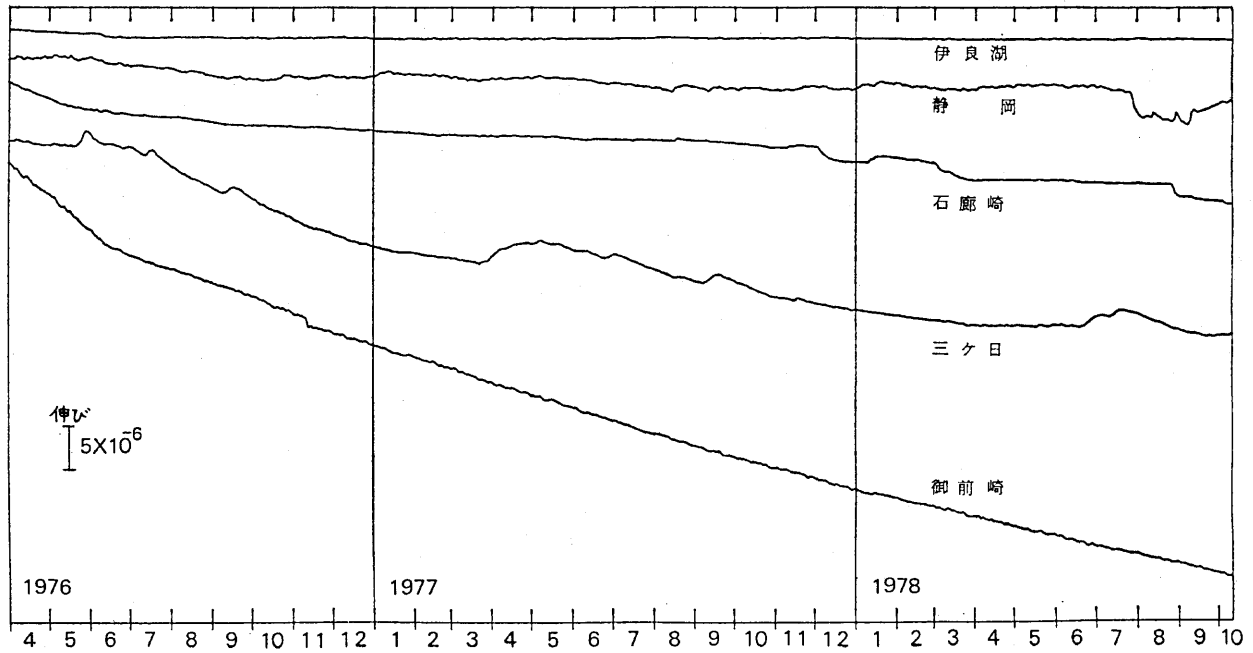
ある。

また網代では1978年1月14日伊豆大島近海地震の後、不規則な変動が現れたしたが、これは地殻内部の変化により、近くの温泉井戸の汲上げの影響が出はじめたものと考えられる。点線は歪変化のベースラインとみてよい。

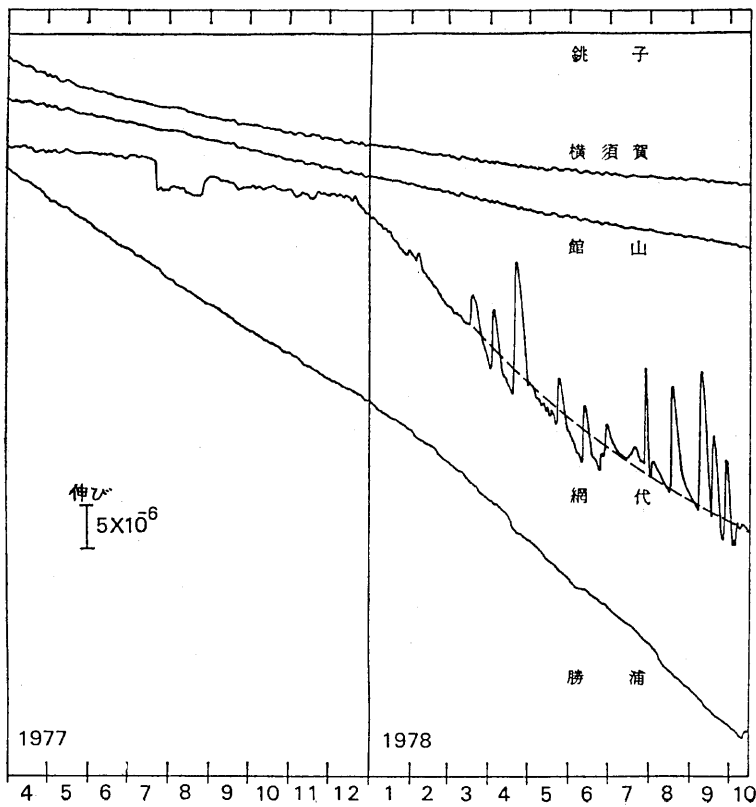
5.2 気象変化の影響

(1) 降雨

横坑式の伸縮計や水管傾斜計の場合、降雨や湧水の影響は大きく、伸縮にして 10^{-7} から 10^{-6} に及ぶ。埋込式

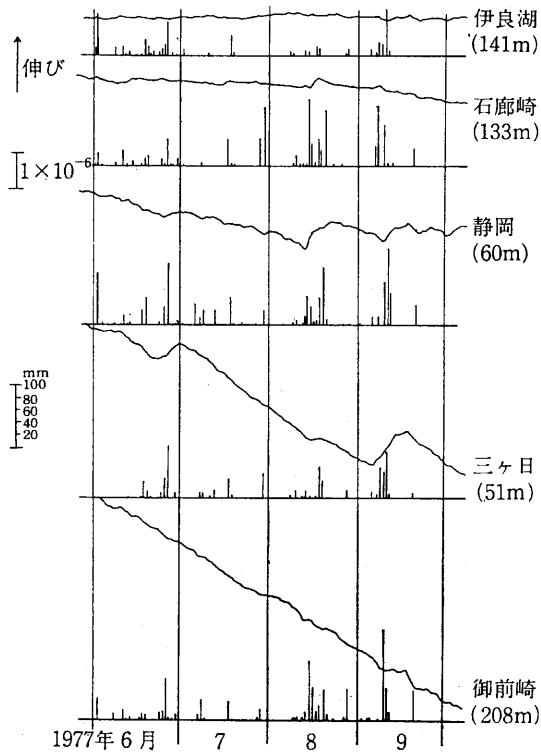


(a) 東海地区



(b) 南関東地区

第9図 歪の永年変化



第10図 東海地区5地点における歪と降雨との相関。()内は測器の埋設の深さ。

歪計の場合には、第10図にみられる通り100mm程度の雨が Continuing も、観測井の比較的浅い三ヶ日と静岡以外では影響はほとんどみられない。

この経験から、南関東地区では深さをすべて100m以上にしている。

(2) 気圧

横坑式の場合気圧変化はあまり問題にされたことはないようであるが、埋込式は感度が高いので気圧変化による影響を考慮に入れる必要がある。特に直前の前兆と、気圧傾度の大きいフロントの通過等による歪変化とは明確に区別されねばならない。第11図に気圧との相関を示す。この期間は降雨のほとんどなかった気圧変動のみの場合をえらんである。

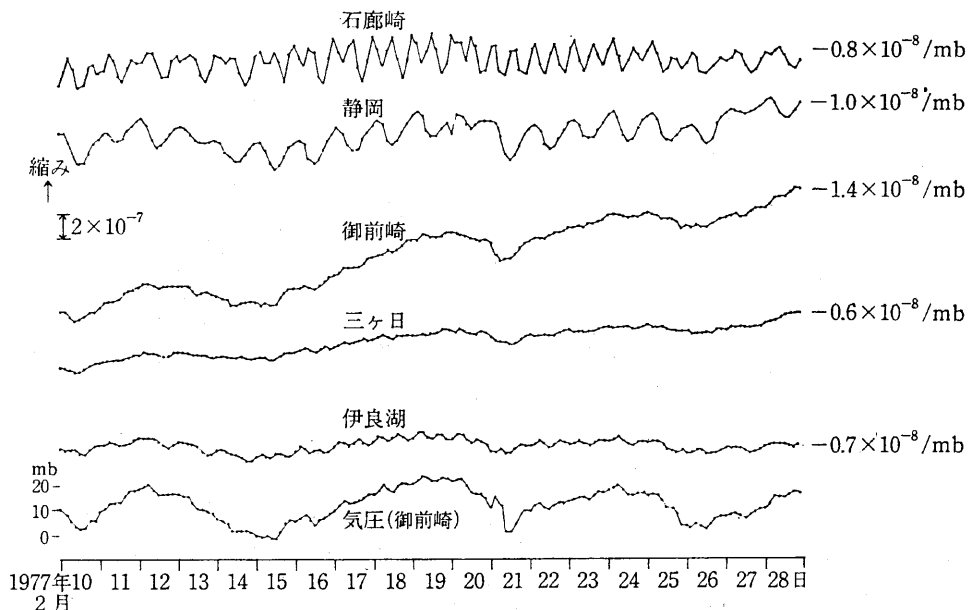
伊良湖のように岩質の固い地点と御前崎のように軟かい地点では、気圧係数に2倍の差がある。20mb程度の気圧変動は比較的短時間に起こりうるが、降雨による影響とは異なって、気圧によるものは時間的遅れがないから補正は容易である。

5.3 1点観測の空間的代表性

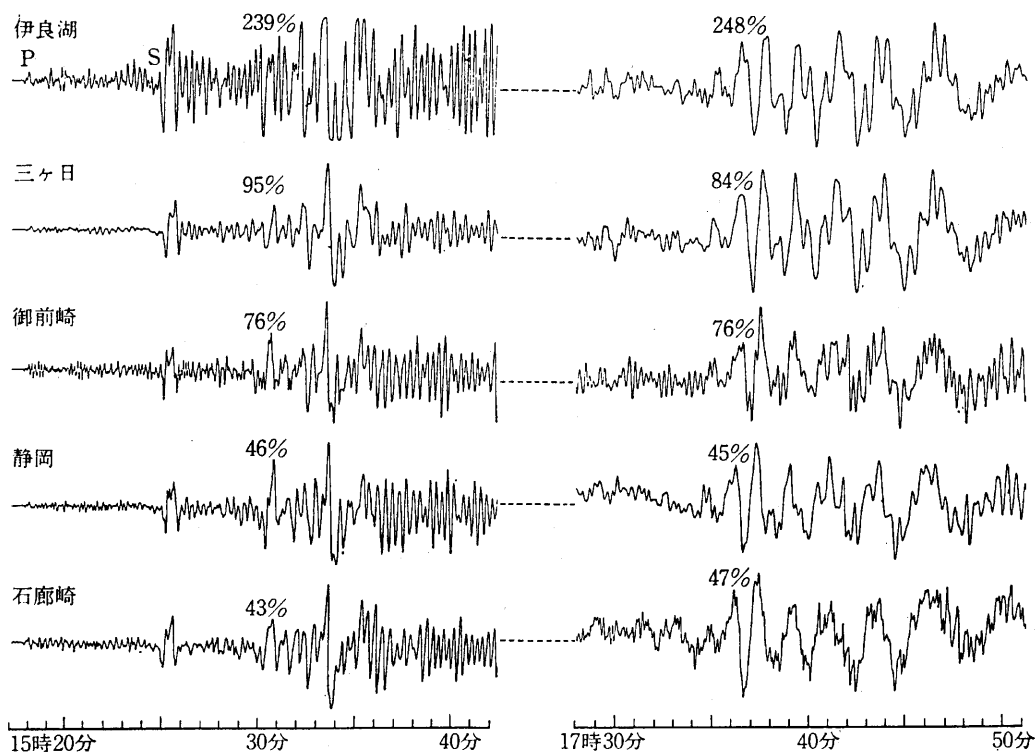
地震の場合はたとえ1点観測であっても、相当広範囲の地震活動に関する情報を入手することができる。地震波は伝播するから、待っていれば向こうからやってくるからである。

これに反して、地殻変動は地震波のように伝播しない。長さ100mの横坑式水晶管伸縮計を用いても、その地点の歪を測っているに過ぎない。1点観測であってもどの位の広さの地域の歪変化を見ていることになるかという空間的代表性は重要な問題である。これによって観測網の密度が決定されることになる。

第12図は遠地震の記録である。これをみると周期30秒以上の表面波についての各点の相関は非常によい。東



第11図 東海地区5地点における歪と気圧との相関



第12図 歪計による遠地地震の記録

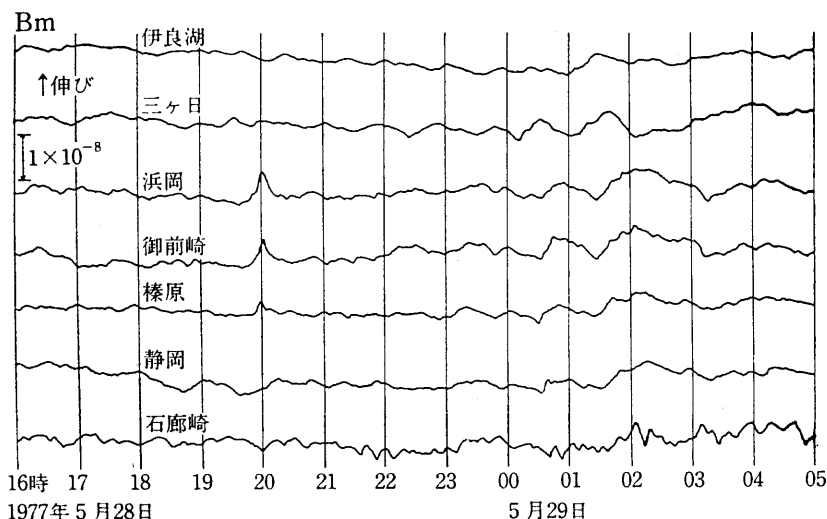
1977年8月19日, スンバワ島付近の地震. %は平均振幅との比較.

海地域を周期30秒程度で押し引きしたりした場合、各点の反応は一様である。従って、例えば御前崎の1点で東海地域を代表させることができる。

一方、各点は周期数分から1時間位のグラウンドノイズに相当する歪変化を記録している。その振幅は地点によって異なるが 10^{-9} と 10^{-8} の間である。この原因はよくわかっていない。

第13図に一例を示す。一見して明らかなように、極めてよい相関のあるのは浜岡、御前崎、榛原の3点だけであって、遠地地震の表面波の時とは様子が異なる。

さらに、別項に述べてある歪の急激な変化は、2点以上に同時に現れたことはまだない。1976年11月の御前崎の数時間に及ぶ急激な変化のときには、残念ながら近い隣接点である浜岡と榛原がまだ追加以前であった。



第13図 歪計によるノイズ

現在までの観測結果によれば、短周期の振動的な歪変化に対しては、相当広範囲が一様に反応するが、この周期が数十分以上になったり、非振動的になると、1単位として同様の反応を示す地域は一辺20km程度になるらしい。この問題に対する更に詳細な情報は、今後の観測にまたねばならない。この点で御前崎のごく近くに2点追加したことは極めて有意義である。

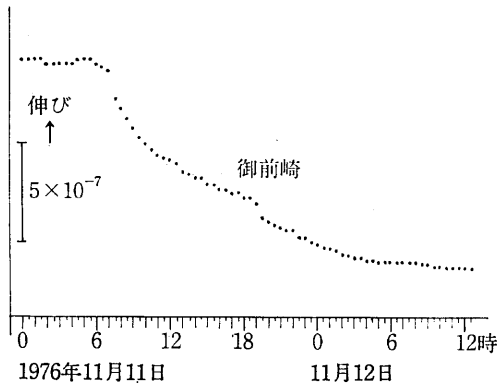
5.4 急激な歪変化

地殻変動は従来まで等速度ではないにしても、常に緩慢な変化しかしないという一種の先入観のようなものがあつた。地震時の歪解放による急激な変化は問題とされるようになったが、非地震性の急激な地殻変動はほとんど報告されていない。

しかし、埋込式歪計によって高感度でしかも時間的分解能の高い観測を行ってみると、地域によっては地殻歪は急激な変化を起こしていることがわかつた。急激といっても数分以内に完了してしまうステップ状のものもあれば、数時間から2日以上にわたつたドリフト状のものもある。この外に高感度のBmのみに現れる微小なステップ状変化は相当例観測されている。

潮汐や地震は常時スムーズに記録しており、急激な変化を含めた積算値はバルブ開閉により確認されているので、これら急激な変化は現実のものと考えざるをえない。

第14、15図に御前崎と網代の変化を、第16図に急激な変化の直後に近地地震が発生した網代の記録を示す。又、ステップの微細構造が顕著に現れている静岡の記録を第17図に示す。図に見られるように、ドリフト状とステップ状の変化の中にもさらに微細な緩急変化が混っていることは極めて興味深い。



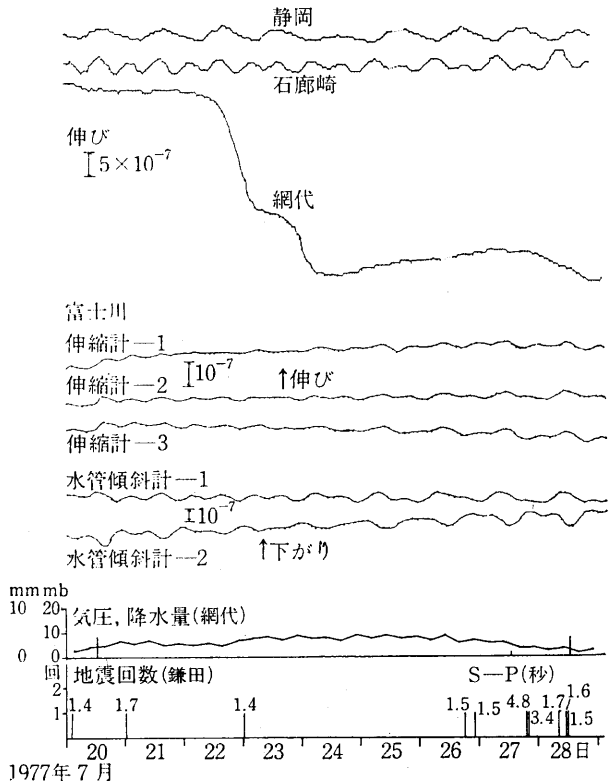
第14図 御前崎における歪変化 (DT)

5.5 地震との関連

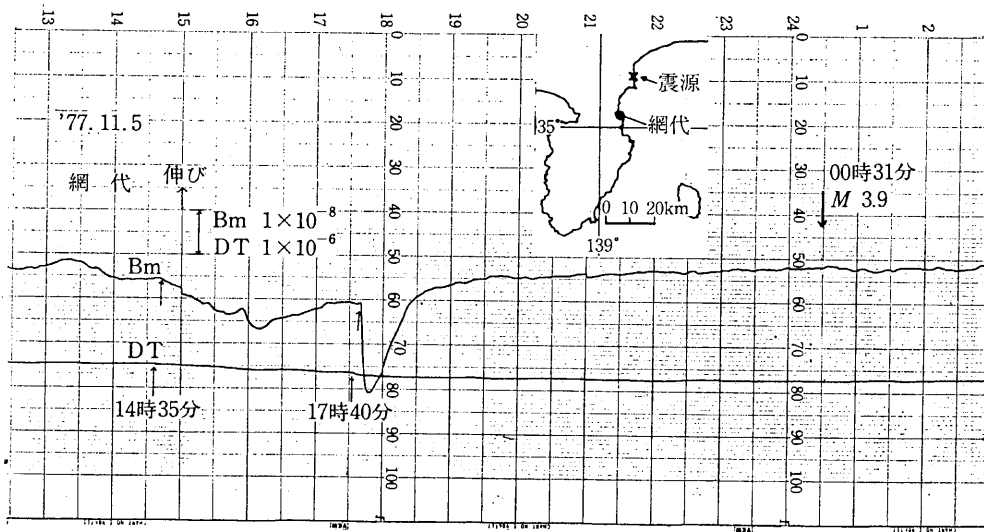
これら非地震時の歪の急激な変化の数時間から1~2日の後に、その付近で地震が発生した例がいくつかある。主なものは次の通りである。

- ① 静岡において歪のステップ状変化が多発した後の山梨県東部の地震 (1976年6月16日, 第18図参照)
- ② 伊良湖において歪のステップ状変化の後の伊勢湾の地震 (1976年7月26日, 第19図参照)
- ③ 網代において歪のステップ状変化とそれにつづく急なドリフト状変化の後の神奈川県西部 (根府川付近) の地震 (1977年11月6日, 第16図参照)
- ④ 石廊崎において、観測開始以来急な歪変化はなかつたにもかかわらず (第9図(a)参照), 1977年12月より急な縮みを観測し、それが1978年1月10日に伸びに転じて、3.5日後に伊豆大島近海の地震が発生した。第9図の石廊崎の1977年11月より1978年2月の部分を拡大して第20図に示す。図中矢印のところで大島近海地震が発生した。この時は前震の発生とあいまって地震課では事前にある意味での不安感を持ったが、現行制度のもとでは群発地震としての情報を出すにとどまつた。

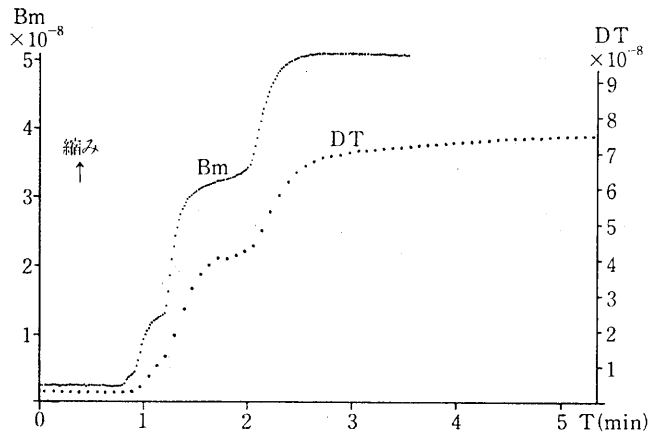
しかし、一方においては御前崎 (1976年11月11日, 第



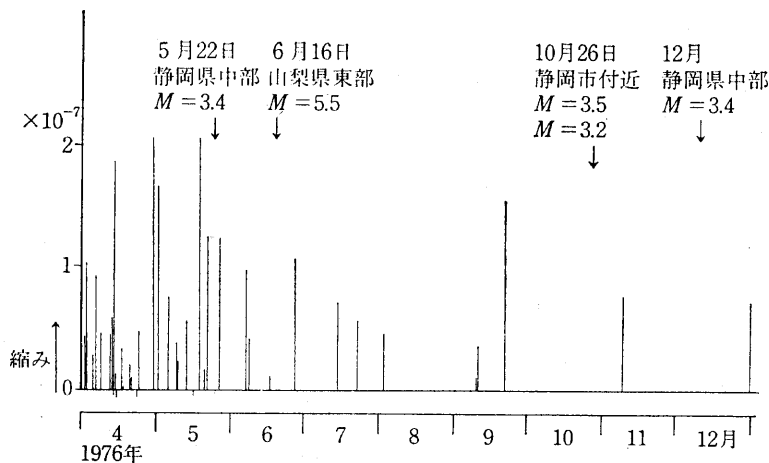
第15図 網代における歪変化 (DT)



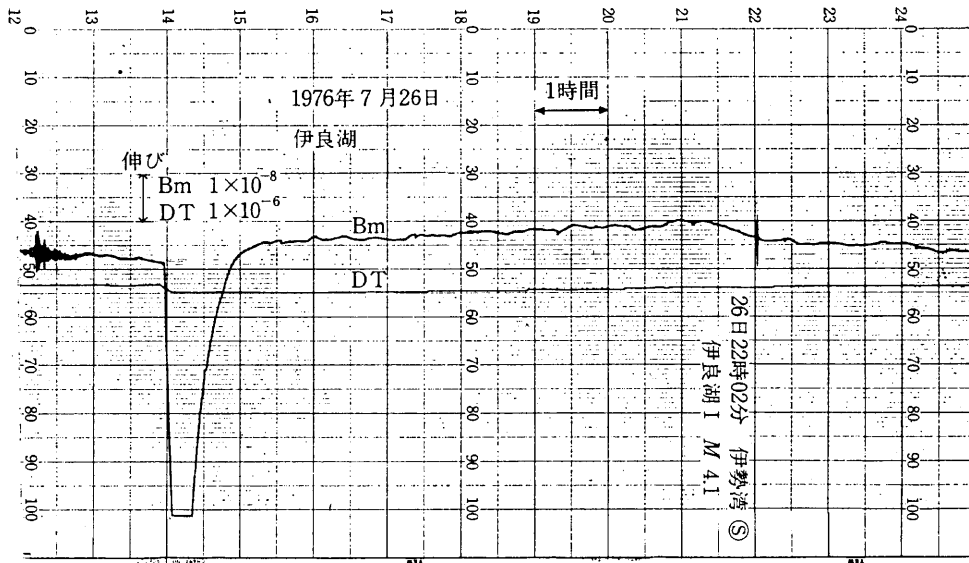
第16図 神奈川県西部(根府川付近)の地震(1977年11月6日00時31分, $M=3.9$)発生前の網代の歪変化



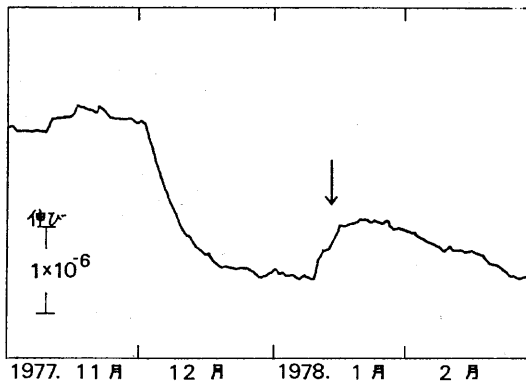
第17図 静岡におけるステップ状の歪変化



第18図 静岡における歪ステップの発現と地震



第19図 伊勢湾の地震(1976年7月26日22時02分, $M=4.1$) 発生前の伊良湖の歪変化



第20図 伊豆大島近海の地震(1978年1月14日12時24分, $M=7.0$) 発生前後の石廊崎の歪変化

14図参照), 網代(1977年7月22日, 第15図参照)の例のように, 相当の歪変化は発生したが, 何事も起こらなかったこともある。

地震時の本破壊への始動に関する物理学が明らかでないため, 現段階ではこれらの急激な歪変化の物理的解釈は困難である。ただし, 仮説の一つとしてプレスリップ理論がある。また本破壊直前における応力再分布という考えもある。これは, テクトニックな力による歪エネルギーは一定の地域内に蓄えられるが, その地域内では決して一様ではない。あたかも高速道路における渋滞の始

まりのように, あちらこちらに局部的な歪の集中が発生して, それが再分布によって本破壊の付近に再集中するという考えである。

とにかく期間は短い, 埋込式歪計の観測網による結果によれば, 歪の分布状態が局地的に急に変化する現象のあることは事実である。

6. 結 び

長年にわたる成果の上に立って, 今や地殻変動連続観測は静的なものから動的なものへ, 調査的なものから現状監視的なものへと新しい面が開けつつある。特に地震予知を目的とする場合には, 事前に判断を下さねばならない。巨大地震が間近に迫っている時には, 過去の事例によれば, 各種の異常の出現の度合いは極めて明らかで, 経験法則や現象を支配する法則が十分に解明されていなくても, 地震接近という判定は行えると期待できよう。

しかし, これをもって十分とするわけにはもち論いがない。最終的には地震発生直前のメカニズムが明らかにされねばならない。それには地殻変動連続観測の高密度の網が大きな役割を果たすと考えられる。

(すえひろ しげじ)

報 告

地殻変動連続観測と埋込式歪計(II)

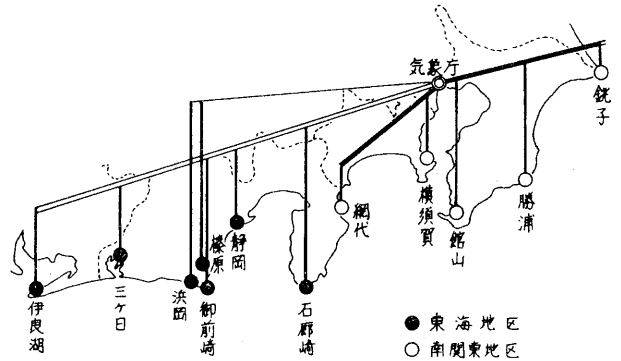
— データの伝送と集中処理 —

観測部地震課*

550. 34. 03

はじめに

1976年4月から東海地区5地点(伊良湖・三ヶ日・御前崎・静岡・石廊崎), 1977年4月から南関東地区5地点(網代・横須賀・館山・勝浦・銚子)で, また榛原・浜岡では1977年5月から, 埋込式歪計による地殻歪の連続観測がはじまった。この埋込式歪計の原理とその観測結果については, 「地殻変動連続観測と埋込式歪計(I)」(測候時報46巻1-2号(1979))で報告した。今回はその(II)として各観測地点から気象庁本庁までのデータの伝送方式と, その集中処理の方法について述べる。

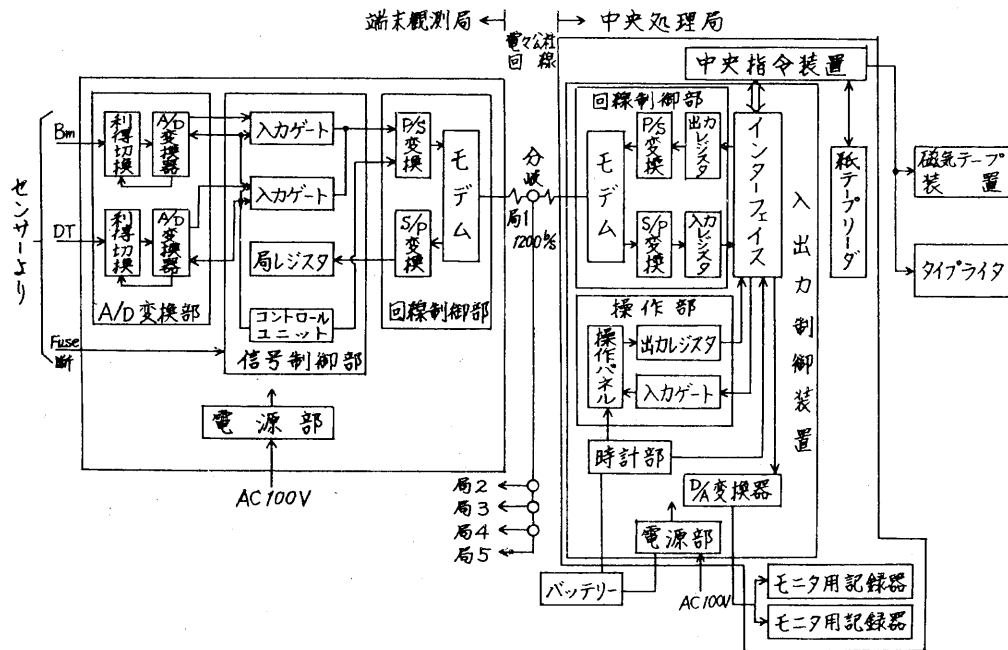


第1図 通信回線系統図

1. システムの構成

気象庁本庁に中央制御装置(以後中央処理局という)をおき, 各観測地点に伝送装置(以後端末観測局という)

をおく。五つの端末局が1系統の通信回線にブランチ接続されて一つの中央処理局と結ばれ, PCM(パルス符号変調)で中央処理局からの1秒周期による呼び出し



第2図 伝送システムのブロック・ダイアグラム

* 山岸要吉・佐藤 馨

して中央処理局に送信する。

モデムの規格は

伝送速度	1200 b/s
伝送周波数	1700 Hz ±400 Hz
変調方式	周波数偏移変調(FS)
	ビット「0」 2100 Hz
	「1」 1300 Hz

3. 中央処理局

中央指令装置は紙テープリーダより処理プログラムを入力させて作動するミニコンピュータであって、入出力制御装置、モニター記録器、磁気テープ装置、タイプライタ等を制御する。

第4図(a)に示すポーリング・タイムシーケンスにもとづき、「呼び出し」信号を順次入出力制御装置のインターフェイスを通して出力レジスタにストアする。この並列の「呼び出し」信号をP/S変換ユニットで伝送に必要な直列信号に変換して垂直パリティを付加し、モデムによって周波数偏移変調し交流信号として各端末局に送信する。

中央指令装置はポーリング後 200 ms ± 100 ms の間にデータが受信できなかった場合、次の局のポーリングに入る。また伝送上のエラー等による無応答が3回連続した場合は、次回からその局のポーリングをとばす。その後、中央指令装置は5分おきにその局にポーリングをかけてみて、回復していたときは以後正常のポーリングに戻る。

第4図(b),(c)に示すデータ信号伝送シーケンスによって各端末局から送られてくる周波数偏移変調された交流信号を、モデムによって直流信号に復調する。そしてS/P変換ユニットで直列信号を並列信号に変換し、水平パリティ、垂直パリティをチェックする。

S/P変換ユニットからの並列信号をレジスタにストアし、中央指令装置からの指令信号によって中央指令装置に転送する。そして後述するフォーマットに従い、処理・編集して磁気テープ装置にファイルする。

また一方、中央指令装置に転送されたデータ信号を、各観測局別のBm, DT信号に分けてD/A変換器によってアナログ信号に変換し、1分毎のデータを6打点モニター記録計にそれぞれ記録している。

中央処理局には電動タイプライタが中央指令装置を経てオンラインで接続していて、任意にBm, DTのデータを打ち出すことができる。なお3時間毎に1日8回の各観測局毎のDTデータを中央指令装置にストアしておき、毎日21時にその日の平均値を計算し、その結果をタ

イプライタに自動的に打ち出させるようになっている。

この観測局別の日平均値をグラフにプロットして歪変化状態の監視を行っている。

なお、通信回線系で発生する障害や観測局における機器の故障またはデータ処理装置におけるエラー等も、タイプライタに出力してシステム全体の保守・管理を行う。更にデータが異常に大きな変化をしたときや、システムに重大な障害が生じた場合には警報ブザーを鳴動させて監視体制に役立てている。

4. 磁気テープ記録

次に、このシステムの出力形式の一つで、データのコンピュータ解析のための磁気テープ書き込みについて述べる。

前節までに説明したように、毎秒の呼び出しに応じて中央処理局に送られてくる1~5局のコントロール情報を含むデジタルデータ信号は、中央処理装置の制御により、Bm成分は毎秒、DT成分は5秒毎のサンプリングで、1分間当たり360データをメモリーに蓄え、時刻情報を先頭に2進数のまま1レコードとして編集し、1分毎にこれを磁気テープ装置にブロック転送して書き込みを行う。

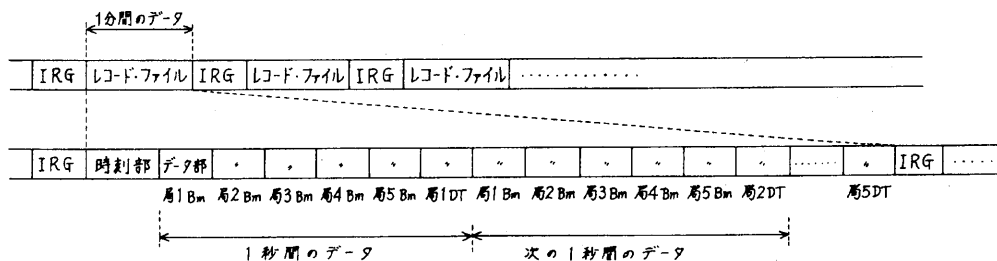
第5図は書き込まれたテープの模式図で、第5図(a)のIRG(Inter Recording Gap)ではさまれた部分が1ブロックのレコード部である。

レコードの先頭にある時刻部は32ビット(4バイト)で構成され、年、月、日、時、分、システム系統番号を表す。そのフォーマットを第5図(b)に示す。括弧内はその要素を表示するビット数である。

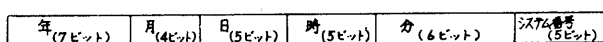
各データ部は24ビット(3バイト)で構成され、局番、成分、コントロール情報、極性、レンジ切り替えの内容を表す。そのフォーマットを第5図(c)に示す。括弧内はその要素を表示するビット数であり、括弧のないものは1要素1ビットで表示する。コントロール情報I₁~I₄は下記状況が発生した場合は、ビット1が表示される。

- I₁: フェーズ断(端末局の地上増幅制御器の電源部故障の時)
- I₂: 公社回線障害
- I₃: 端末ローカル(端末局でローカル・スイッチを押下する)
- I₄: パルプ・オープン(端末局でパルプ・オープン・スイッチを押下する)

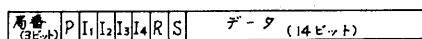
その他の要素については次の規定に従う。



(a) 磁気テープファイル・フォーマット



(b) 時刻部フォーマット



(c) データ部フォーマット

第5図 磁気テープファイル・フォーマット

P : 成分 (Bm成分: ビット0, DT成分: ビット1)
 S : 極性 (+ : ビット0, - : ビット1)
 R : レンジ切り替え(無: ビット0, 有: ビット1)
 データ14ビットで表示される絶対値の最大は16383で、データの最小位は0.1 mVを示す。これを超える値はデータが $\frac{1}{10}$ に切り下げられ、Rのビットが1に切り替えられる。よって、このデータ部で表示できる数の範囲は、
 R : 0のとき 0.0000V ~ ±1.6383V
 R : 1のとき ±1.638V ~ ±16.383V
 となる。

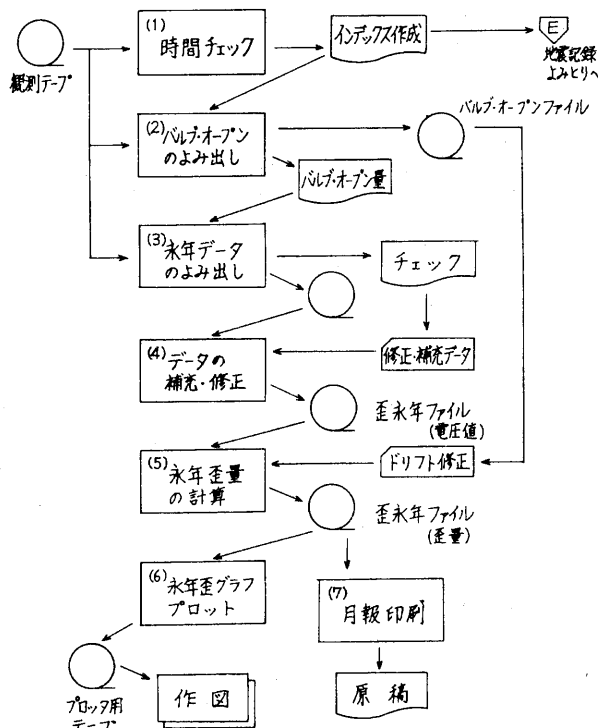
磁気テープ装置の規格は次の通りである。

- 記録密度 800 BPI
- 記録形式 NRZ
- 誤りチェック 垂直・水平パリティ・チェック、サイクリック・リダンダংশィ・チェック
- トラック数 9トラック
- IBMコンパティビリティを有すること。
- 1ブロックのサイズ 1084バイト

5. 地殻歪永年データのファイルテープ作成

磁気テープは7日毎に装置より外して、大型コンピュータにかけて各種の読み出しを行う。第4節で述べたように、磁気テープの内容はすべて2進法で、しかも1バイトを数要素で分割しているため、特別の読み出しのプログラムを用いる。

毎秒サンプリングのBm成分の読み出しからは、地震や特異現象の解析を行い、5秒毎サンプリングのDT成分の読み出しからは、地殻歪永年データのファイルテープを作成し、地殻歪の永年変化の解析を行う。
 このファイルテープの作成は次の手順でルーチン化されている。



第6図 ファイルテープ作成のフローチャート

- (1) 時間チェック
 - (i) オリジナルテープの各ブロックの時刻部を読み出し、ブロックナンバーと時刻の対照リストをつくる。
 - (ii) 時刻部の経過を追跡して、記録状況をチェックする。
 - (2) バルブ・オープンの読み出し
 - (i) ある局でバルブ・オープン*を行った際は、データ部の I_4 のビットを手がかりに、オリジナルテープをサーチし、DT成分のバルブ・オープン量を算出する。
 - (3) 永年データの読み出し
 - (i) オリジナルテープの毎時正分から10分以内のDT値を読み出し、平均を求めてその時刻の観測値とする。
 - (ii) (i)で求めた観測値に対し、DTの零補正、バルブ・オープン量の補正を行いながら、観測開始時からの積算値を求める。
 - (iii) (i)の観測値、(ii)の積算値および他の各種情報と共に1~5局のデータをまとめて、毎時=1ブロックとして永年ファイルテープに書き込む。
 - (4) データの補充・訂正
 - (i) 第(3)項の結果について、データの適否をチェックする。
 - (ii) 欠落データ、不良データは、タイプライタ出力、現地アナログ記録、紙テープ等から補充・修正する。
 - (iii) 時刻情報などの不良も修正して、永年ファイルテープを完全なものにする。
 - (5) 永年ひずみ量の計算
 - (i) 第(4)項で作成された永年ファイルの積算値のデータに、ドリフト量**を補正して、ひずみ量に換算する。
 - (ii) ひずみ量を1~5局、24時間分をまとめて1ブロックとし、出力テープに書き込む。
 - (6) 永年ひずみグラフの作成
 - (i) 第(5)項で作成されたテープより、ひずみの積算状況をプロッターで作図する。
 - (7) 月報印刷原稿の作成
 - (i) 第(5)項で作成されたテープより、各観測点毎の日平均値を計算し、月報掲載の原稿を作成する。以上のフローチャートを第6図に示す。地震や特異現象のための読み出しは、必要がある時に行う。
- (やまぎし ようきち、さとう かおる)

* 「地殻変動連続観測と埋込式歪計(I)」を参照。

** 端末局のセンサー側にあるアナログ直流増幅器および差動トランス用発振器等の電子部品に起因する経年ドリフトであり、バルブ・オープン時毎に確認される。