

埋込式体積歪計のノイズレベル調査及び異常監視処理

小林昭夫*・松森敏幸*

An Investigation of Noise Levels for the Data of Bore-hole Type Volumetric Strain-meters
and Process for Detecting Abnormal Changes
Akio KOBAYASHI and Toshiyuki MATSUMORI

(Received July 1, 1998 : Accepted December 20, 1998)

1. はじめに

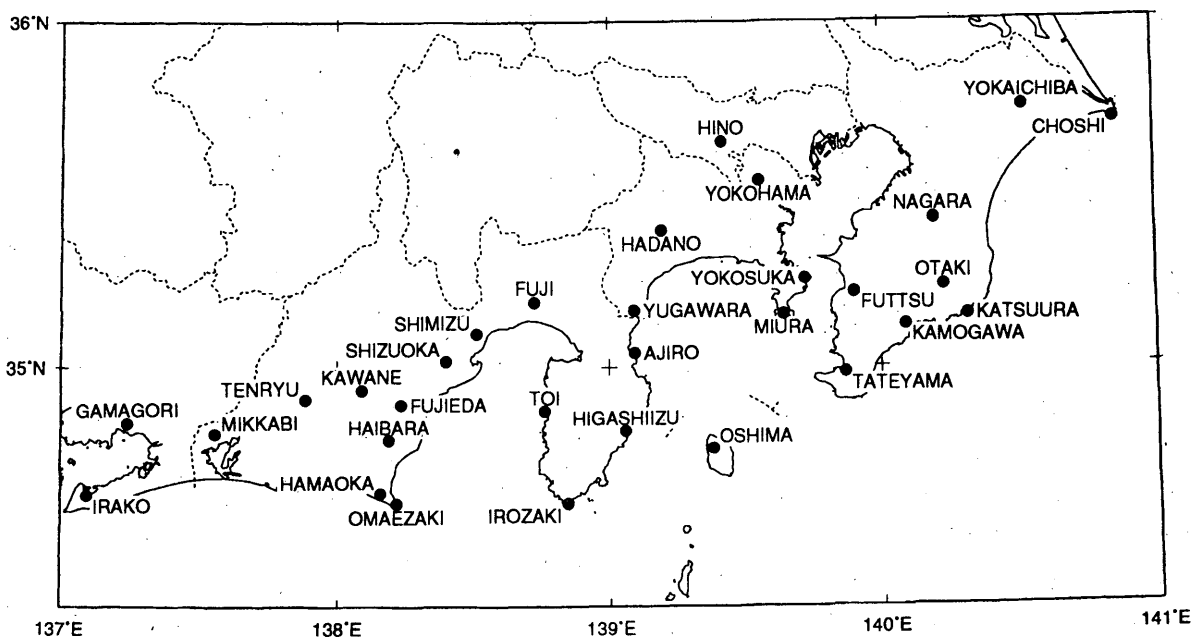
気象庁では東海地域に16地点、南関東地域に15地点(第1図)の埋込式体積歪計による観測を実施している。特に東海地域の体積歪データの異常変化は、地震防災対策強化地域判定会招集の基準の一つとなっている。

体積歪データは気圧変化等の様々な環境の影響を受けているため、データの異常変化の監視では、これら環境の影響を補正する必要がある。常時監視を行うために、気圧補正(檜皮ら, 1983), 潮汐補正(石黒ら,

1984)をリアルタイムで処理している。一方、降水の影響については、石垣(1995)等による補正の試みが報告されているが、リアルタイムでの補正が行われるには至っていない。

体積歪データの異常監視処理では、変化を表す量として一定時間(以下、階差時間)前との差(以下、変化量)を用い(第2図)、変化量が基準値以上になったときに音声報知している。従来の手法の問題点として以下があげられる。

Station map



第1図 埋込式体積歪計の観測点分布
東海地域が静岡県以西の16地点, 南関東地域が神奈川県以东の15地点。

* 気象庁地震火山部地震予知情報課

①体積歪の通常の変動の大きさは各観測点で異なるはずであるが、異常判定の基準値は観測点によらず共通の値を経験的に多少変更して用いていた。

②体積歪は降水補正処理を行っていないため降水による影響を大きく受けているが、異常判定の基準値は降水の影響のある期間（以下、降水期間）、ない期間（以下、通常期間）で共通の値しか設定できず、降水があっても頻繁に音声報知されない値を設定していた。

東海地震の前兆としての体積歪異常変化（シグナル）を、通常の変動（ノイズ）の中からより小さな早い時点で検知することは、異常監視上重要なことである。本調査では、通常期間及び降水期間を含む期間それぞれについて、観測点毎に体積歪の変化量の頻度分布からノイズレベルを調査し、調査結果に基づいた監視処理の改良、及び監視基準値の変更を行い、従来より変化量は小さいが有意な変化を検知するという意味で異常監視処理の強化を図ったので報告する。

2. 体積歪データの処理

体積歪計は周期数秒から無限大までの非常に広い周波数帯域が観測でき、センサーからのLP成分と、それにハイパスフィルター処理をしたSP成分とが出力されている。また補正処理に用いるため、観測点により気圧、雨量等の環境要素も同時に観測している。

現在のEPOS（地震予知情報課、1996）の地殻処理では、リアルタイムでテレメータ装置からの体積歪データを毎秒受信し、異常監視用に潮汐、気圧補正を施した分単位のデータ（補正分値）と時間単位のデータ（補正時間値）を作成している。補正分値は毎正分前後2分ずつの平均値、補正時間値は毎正時前後30分ずつの平均値である。

異常監視処理ではリアルタイム処理で作成された最新データを対象に、設定された階差時間（従来SP5分、LP60分、LP3時間）に対する変化量を求め、これが基準値以上の場合に画面表示及び音声報知をしている。画面表示の基準値をレベル1、音声報知の基準値をレベル2と呼ぶ。東海地域の観測点に対するLPの音声報知の基準値（レベル2）は、階差時間60分では体積歪変化量 50×10^{-8} strain、階差時間3時間では 18×10^{-7} strain を原則とし、観測点毎に経験的に変更していた。

体積歪データは降水の影響を大きく受けており、リ

アルタイムでの降水補正処理が行われていない現時点では、降水期間と通常期間とで異常監視の基準値が同じということは、運用において以下の問題が生じる。即ち、通常期間に発生する小さいが有意な異常変化を検知するために基準値を小さくすると、降水による変化で音声報知されることが多くなり、逆に降水期間に合わせて基準値を大きくしておく、有意な異常変化の検知が遅れる恐れがある。一方、各観測点におけるノイズレベルを把握しておかなければ、発生した変化が有意かどうかを判断することが難しい。このため異常監視処理の基準値を通常期間と降水期間で変更して監視することとし、観測点毎にそれぞれの期間のノイズレベルを調査する。この調査でのノイズレベルとは、調査対象期間中に1回だけ現れる事象に対応した変化量を意味する。

3. ノイズレベル調査方法

3.1 調査対象データ

様々な階差時間について調査を行うため、調査対象データは短周期成分のみであるSP成分ではなく、異常監視処理で実際に処理されていた補正分値LP成分を使用することとした。対象期間は現在のEPOSが安定運用となった1995年6月から1996年11月までの1年6ヶ月間である。伊良湖及び石廊崎については調査期間内にセンサーの更新があり、新旧両方を対象とした。なお更新後の両観測点については調査対象期間が異なっている。

通信回線断等によるスパイクノイズや、地震によるコサイスマックなステップが含まれているデータは、監視上東海地震の前兆現象としての異常変化との判別が容易なため、調査対象から除いた。また、1観測点単独で現れ、広域歪場を反映したものとは考えられない観測点特有の変化（以下、特有変化）についても、監視上東海地震に結びつかない変化と判定できるが、特有変化のデータを除いた調査と含んだ調査を行った。ただし特有変化が存在するものの、その発生頻度が高いため監視上は特有変化を含んだ基準値の方が適当と判断した観測点については、特有変化を含んだ調査のみとした。第1表に調査対象期間中に発生した各観測点の特有変化について示す。（以下、各表中では 1.0×10^{-8} 等を $1.0e-8$ と表している。）

これら調査の対象外とするデータ変動のうち、データのとびを伴うものについては注意が必要である。例えば、地震によるステップ状の変化の場合、ステップの発生している期間は短い、この期間をまたぐ階差時間の変化量にはステップ量が加算されてしまう。このため、階差時間内にデータのとびが含まれないよう、実際データが変動している期間の後更に階差時間分のデータを使用しないこととした。

3.2 降水期間の判定

降水期間の判定は体積歪観測点毎とし、観測点周辺のアメダス（地域気象観測センター、1980）2～3地点のデータを用いた。アメダスの降水量は、毎正時の前1時間降水量であるため、最大1時間降水の検知が遅れることを考慮し、いずれかの地点で最小観測単位である0.5mm以上の降水があった時刻の1時間前を降水期間の開始時刻、降水が体積歪変化に大きな影響を及ぼす時間幅を考慮して前24時間内の積算降水量が0.0mmになった時刻を降水期間の終了時刻とした。

3.3 階差時間等

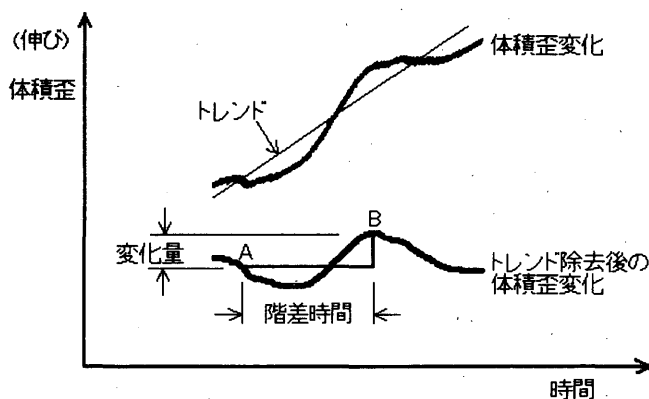
階差時間5, 30, 60, 120, 180, 360, 720, 1440分について、変化量の頻度分布を求めた。このとき直線的なトレンドについては定常的な変動と考え、階差に基づく異常判定からは除いて考えるべきであるので、通常期間の平均的なトレンド量をあらかじめデータから除去した。この量は降水期間を含む全体のトレンドとは多少異なっているが、ここでは以降トレンド量と呼ぶ（第2図）。

異常監視処理で使用するため、実際に監視対象とする5, 60, 180, 1440分の階差時間について、伸び、縮み側それぞれに対し、ある指定値以上の変化が発生した回数を調査し、調査期間内に1回だけ発生する変化レベルをノイズレベルとして求めた。このとき変化量が指定値付近をデータのゆらぎによって上下した場合、短い期間内に発生回数が見かけ上多くなり実際の感覚とずれることを避けるため、2時間以内の現象は1回とみなし、変化量がある指定値に達してから一時的にこの値を下回った後再び達した場合でも無視した。

3.4 2点同時調査

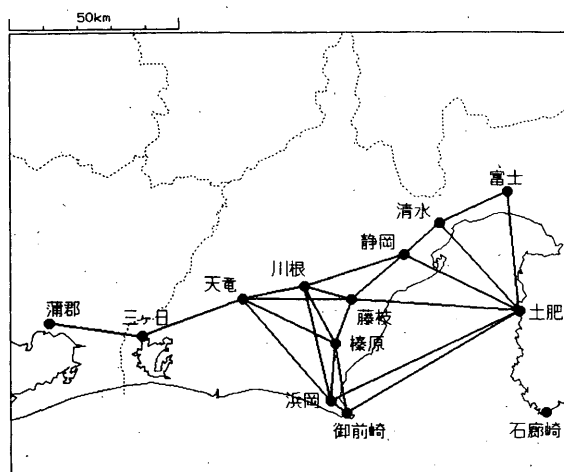
地殻内部での変動が広域に及んでいる程、またその変動量が大きいほど多くの観測点で同時に観測される可能性が高いので、東海地震の前兆現象かどうかを判断する上で、有意な体積歪変化が複数の地点で同時に観測されるかどうか重要となる。単独の観測点でランダムに発生しているノイズの場合、同じレベルの変化量が2点同時に発生する頻度は低くなると考えられるため、東海地域の想定断面周辺の近接する23組の観測点の組み合わせについて、通常期間における2点同時ノイズレベル調査を行った（第3図）。

調査条件は観測点毎の場合と同じで、LP成分を対象に階差時間60, 180, 1440分について、それぞれの観測点に対して与えられた指定値以上の変化量が同時に発生した回数、及び調査対象期間に対する発生割合を調査する。調査を通常期間のみに限定したのは、降水現象が一般に広域的な現象であり、2点同時による設定値が単独観測点の設定値より小さくなることがあまり期



第2図 体積歪の階差時間と変化量
観測点毎に適当なトレンド量を差し引いた後、階差時間前後の変化量（B-A値）を求める。

待できないためである。



第3図 2点同時ノイズレベル調査対象観測点
 図中線で結んだ23組の観測点の組み合わせについて調査を行った。

4. 調査結果

4.1 観測点毎の調査結果の概要

付表1に観測点毎の調査結果を示す。先頭行に観測点名, 調査対象期間, 調査対象データ, トレンド除去量,

第1表 観測点毎の特有変化
 調査対象期間中に発生した観測点毎の特有変化。

特有変化のデータを除いた調査と含んだ調査を行ったもの

観測点	発生頻度、変化量、原因等
三ヶ日	毎年夏季約1ヶ月間の数十分から1日にわたる縮み変化 (最大 $2e-7$ strain程度) 年に2~3回発生する数時間から2日にわたる伸び変化 (最大 $1e-6$ strain程度)
天竜	1994年末から1995年8月頃まで発生した数分間の縮み変化 ($2e-8$ strain程度)
東伊豆	伊豆東方沖群発地震発生時の縮み変化
石廊崎 (旧)	年に1~2回発生する数日~数週間にわたる伸び変化 (最大 $2e-6$ strain程度)
長柄	毎年春から夏にかけて長期間にわたる縮みトレンドの中の、数時間の縮み変化
鴨川	年に2~3回発生する1時間程度にわたる縮み変化 ($1e-7$ strain程度)

特有変化のデータを含んだ調査のみ行ったもの

観測点	発生頻度、変化量、原因等
伊良湖 (新)	1~2日毎に発生する10~20分にわたる縮み変化 ($5e-9$ strain程度)
御前崎	3~4日毎に発生する10分間程度の伸び変化 ($1e-8$ strain程度)
富士	気圧応答の非線形成分による数日周期の変化
石廊崎 (新)	1日数回の周辺の地下水利用に伴う数十分~数時間の縮み変化 ($1e-8$ strain程度)
日野	1日1~2回発生する周辺の地下水利用に伴う縮み変化 ($1e-7$ strain程度)

降水期間算出時に使用したアメダス観測点名を記している。

表中階差時間毎に縦に並ぶ数値列は、1分毎に算出した変化量別の頻度で、のべ発生時間 (分) に相当する。変化量の刻みは、LP成分の分解能が 1.0×10^{-9} strain (楡皮ら, 1983) であることを考慮して基本的に 1.0×10^{-9} strain とし、ある変化量を中心とするその刻みの幅に入った時間数を分単位で示している。例えば $+5.0e-9$ のカテゴリーは、変化量が $+4.5e-9$ 以上 $+5.5e-9$ 未満であることに対応する。伸び (+), 縮み (-) の両端の頻度には、その変化量を超える範囲を含んでいる。頻度の分布が基本的な変化量の刻みによる表示に収まらない場合は、刻みを10倍単位で大きくした頻度分布も合わせて示した。

階差時間を数値のみで表記した場合は通常期間の調査結果である。数値の右に「雨」とあるのは降水期間を含んだ調査結果で、ここでは階差時間 180分について示している。数値の右に「N」とあるのは特有変化のデータを含んだ調査結果で、特有変化の影響が顕著に表れる階差時間について示している。

通常期間の階差時間のうち5, 60, 180, 1440分の階

差時間については、指定値（左端の変化量）以上の変化が発生した回数を括弧内に示している。一般に指定値が大きくなると発生回数は減少する傾向にある。

下段には階差時間毎のべ対象期間長（分）（「処理総数」と表記）、変化量の伸び側最大値、縮み側最大値、平均値及び標準偏差を示している。変化量の刻みを変えて重複して示している階差時間については、これら

は省略している。

第2表は、観測点毎、階差時間別に調査期間中の発生回数が1回となるレベルを、通常期間及び降水期間を含む期間についてまとめたものである。調査対象期間は1年半で、通常期間の対象期間は更に短い。通常の変動ではここで得られたレベルを大きく超える変動は発生しないと考えられる。

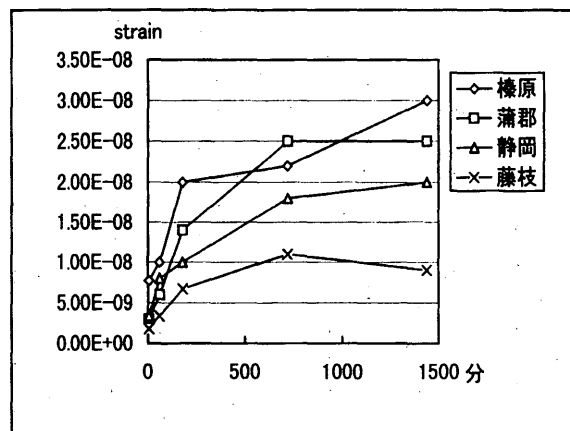
第2表 観測点毎のノイズレベル調査結果
調査期間中に1回発生する変化量。
東海平均値には旧観測点を含まない。

観測点	通常期間のみ				降水期間含む			
	5分	60分	180分	1440分	5分	60分	180分	1440分
(東海地域)								
伊良湖(旧)	4.0e-09	1.1e-08	3.0e-08	5.0e-08	6.5e-09	3.5e-08	5.0e-08	9.0e-08
伊良湖(新)	6.0e-09	1.6e-08	1.8e-08	2.7e-08	6.0e-09	2.0e-08	3.0e-08	5.5e-08
蒲郡	3.0e-09	6.0e-09	1.4e-08	2.5e-08	5.1e-09	2.0e-08	3.0e-08	5.0e-08
三ヶ日	2.7e-09	1.0e-08	1.4e-08	3.1e-08	3.5e-09	1.5e-08	2.5e-08	4.3e-08
天竜	6.0e-09	8.0e-09	1.2e-08	2.2e-08	1.0e-08	5.0e-08	8.0e-08	1.3e-07
川根	1.9e-09	3.6e-09	7.7e-09	2.0e-08	6.0e-09	3.5e-08	7.9e-08	2.0e-07
浜岡	4.0e-09	1.0e-08	9.0e-09	2.0e-08	8.0e-09	3.5e-08	5.0e-08	8.0e-08
襟原	7.7e-09	1.0e-08	2.0e-08	3.0e-08	8.0e-09	3.9e-08	5.0e-08	1.1e-07
御前崎	6.0e-09	1.3e-08	1.9e-08	4.3e-08	9.0e-09	3.5e-08	6.0e-08	9.0e-08
藤枝	1.8e-09	3.4e-09	6.7e-09	9.0e-09	6.0e-09	2.5e-08	5.0e-08	7.4e-08
静岡	3.4e-09	8.0e-09	1.0e-08	2.0e-08	5.5e-09	3.0e-08	5.0e-08	7.0e-08
清水	2.4e-09	4.6e-09	1.0e-08	2.3e-08	1.3e-08	6.0e-08	1.3e-07	2.1e-07
富士	3.0e-09	5.0e-09	1.3e-08	5.0e-08	3.0e-08	6.0e-08	1.0e-07	1.8e-07
土肥	4.0e-09	8.9e-09	1.8e-08	2.5e-08	7.0e-09	3.4e-08	4.7e-08	7.0e-08
石廊崎(旧)	1.2e-08	2.4e-08	5.0e-08	6.6e-08	2.5e-08	8.0e-08	1.4e-07	3.0e-07
石廊崎(新)	8.0e-09	2.0e-08	3.7e-08	4.8e-08	1.3e-08	3.4e-08	4.3e-08	1.0e-07
東伊豆	2.5e-09	6.0e-09	9.9e-09	2.3e-08	6.0e-09	2.5e-08	5.0e-08	1.2e-07
網代	9.0e-09	2.0e-08	3.8e-08	5.0e-08	1.4e-08	3.9e-08	8.0e-08	1.9e-07
東海平均	4.5e-09	9.5e-09	1.6e-08	2.9e-08	9.4e-09	3.5e-08	6.0e-08	1.1e-07
(南関東地域)								
湯河原	2.0e-09	6.0e-09	1.2e-08	3.0e-08	7.9e-09	2.0e-08	4.5e-08	1.0e-07
秦野	6.9e-09	1.8e-08	3.8e-08	9.0e-08	1.0e-08	3.3e-08	5.0e-08	1.1e-07
大島	1.0e-08	1.6e-08	3.2e-08	4.9e-08	2.0e-08	4.0e-08	6.0e-08	1.8e-07
日野	1.3e-08	8.0e-08	1.7e-07	3.5e-07	1.6e-08	9.0e-08	1.7e-07	3.8e-07
横浜	3.0e-09	1.4e-08	3.6e-08	1.6e-07	8.9e-09	4.0e-08	7.0e-08	2.2e-07
三浦	3.0e-09	5.8e-09	1.0e-08	2.9e-08	1.1e-08	3.9e-08	7.0e-08	2.0e-07
横須賀	1.5e-08	4.0e-08	6.0e-08	5.0e-08	3.9e-08	5.5e-08	7.0e-08	1.6e-07
富津	4.6e-09	1.2e-08	2.9e-08	7.0e-08	4.0e-08	5.0e-07	7.0e-07	1.0e-06
八日市場	3.1e-09	9.0e-09	1.7e-08	2.5e-08	1.7e-08	5.0e-08	1.0e-07	3.5e-07
大多喜	4.6e-09	1.1e-08	1.8e-08	4.0e-08	1.8e-08	1.0e-07	2.0e-07	5.0e-07
長柄	4.0e-09	1.5e-08	3.7e-08	1.8e-07	2.0e-08	1.5e-07	2.5e-07	7.0e-07
勝浦	2.3e-08	3.0e-08	6.0e-08	1.5e-07	5.0e-08	7.0e-08	1.1e-07	2.5e-07
鴨川	1.0e-08	1.2e-08	1.3e-08	2.0e-08	1.1e-08	5.0e-08	6.0e-08	1.1e-07
銚子	2.0e-08	5.0e-08	1.0e-07	5.0e-07	2.0e-08	1.1e-07	3.0e-07	1.5e-06
南関東平均	8.7e-09	2.3e-08	4.5e-08	1.3e-07	2.1e-08	9.6e-08	1.6e-07	4.1e-07

単位：strain

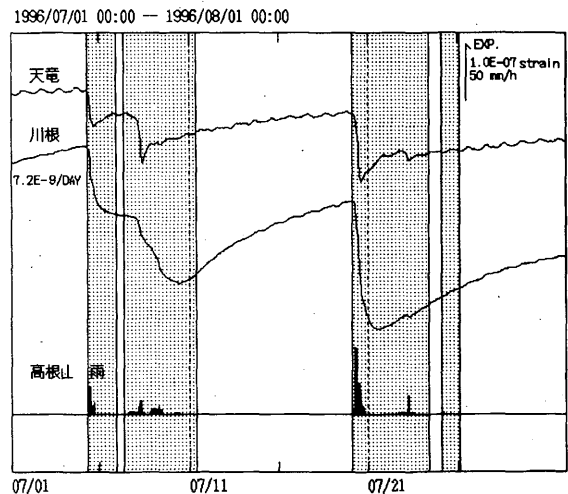
4.2 ノイズレベルの傾向

調査結果から階差時間が長くなるにつれて変化量のばらつきが大きく、即ちノイズレベルが高くなることがわかる(第4図)。しかし階差時間が2倍になってもノイズレベルは2倍までにはならない。特に720分階差と1440分階差のノイズレベルにほとんど差がない観測点が多く、藤枝等は720分より1440分階差のノイズレベルの方が低くなっている。これは、潮汐の主な周期である半日周期、日周期のうち、720分階差が半日周期のみ、1440分階差は両周潮の整数倍であり、階差時間が周潮の整数倍の場合、変化量を計算する上で潮汐の影響が残差を含めて打ち消されるので、720分階差に比べて1440分階差の方が潮汐補正残差がより小さくなるためと考えられる。



第4図 階差時間とノイズレベル例
調査期間(通常期間)中に1回発生するレベルの階差時間による変化例。

降水期間を含めた調査結果を通常期間のものと比較すると、180分階差においては降水直後の縮み変化の影響が著しい観測点が多いことがわかる(例えば付表1, 富士等)。短い階差時間では降水直後の縮み変化の影響がより大きく、階差時間が長くなると降水終了後の緩やかな伸び変化の影響が見られる。降水による体積歪変化は観測点により多様にもかかわらず、一律の条件で調査を行ったため、通常期間の調査結果の中でも川根の1440分階差のように降水後の緩やかな伸び変化の影響が含まれてしまったものもある。川根の典型的な降水応答の例を第5図に示す。一般的には降水期間を含めたノイズレベルは、通常期間の数倍程度になっている(第2表)。



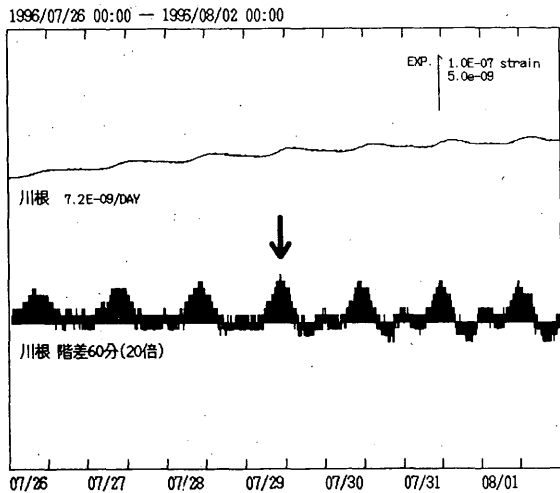
第5図 川根の典型的な降水応答例
網掛け部分は川根について降水期間とした期間。ほぼ同じ降水期間を持つ天竜と比較し、川根の降水後の伸び変化は降水期間終了後も続き、数日間にわたっていることがわかる。

4.3 具体的なノイズの例

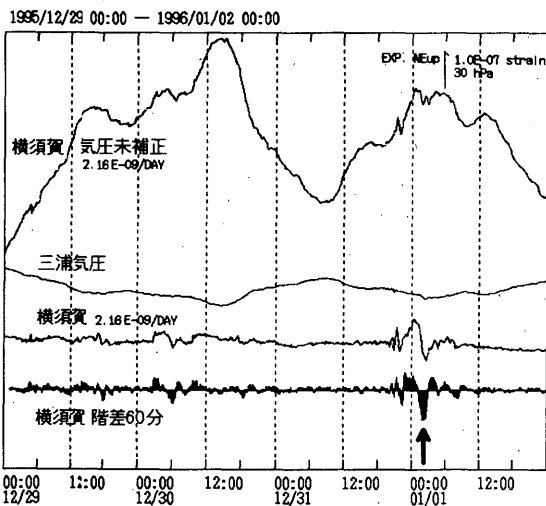
観測点毎のノイズレベルの事象について見てみると、ほぼ半数の観測点が潮汐補正の残差によるものであった(第6図)。体積歪のリアルタイムにおける潮汐補正は、観測点毎に過去のある期間のデータに対してBAYTAP-Gにより求めた潮汐応答係数を用いている。これは弾性体としての地球潮汐のみならず、海洋潮汐による荷重変化の影響まで含めた変動の除去を目的としており、ほとんどの地点で良好に補正されている(石垣, 1995)。しかし潮汐応答に大きな時間的変化はないものとして、過去データを用いて得られた係数を使用していることもあり、リアルタイム処理では完全に除去しきれない補正残差が残る。

残る約半数の現象のうち多くは原因不明である。この中には特有変化だが、頻繁に発生するため特有変化を含めて調査をした観測点が含まれている。

その他の現象のうち、川根、銚子では、降水後の体積歪変化が長引いたことが原因となっている。横須賀では、気圧の変動に関連したものと推定される現象が見られる(第7図)。これは当時横須賀に気圧計がなかったため、気圧補正には三浦の気圧値を使用しており、局所的な気圧変化による体積歪変化を補正しきれなかったことも原因と考えられる。



第6図 具体的なノイズの例(潮汐補正残差)
 図中上段がトレンド除去後の川根の補正分値データ、
 下段が階差時間60分の変化量。通常期間の調査期間中
 で変化量が最大になった部分を矢印で示す。



第7図 具体的なノイズの例(気圧変動)
 図中上から横須賀の気圧補正前のデータ、気圧補正に
 用いている三浦の気圧記録、横須賀の気圧補正後のデ
 ータ、下段が階差時間60分の変化量。通常期間の調査
 期間中で変化量が最大になった部分を矢印で示す。

4.4 2点同時調査結果の概要

第3表に2点同時調査結果の1例として、三ヶ日・天竜の階差時間60分について示す。それぞれの観測点について、ある指定値以上の変化の発生回数、及び括弧内に調査対象期間に対する発生割合を示している。 2.0×10^{-9} strain に対応する部分に着目すると、三ヶ日単独で372回、天竜単独で480回発生しているが、両観測点同時では65回と頻度が減っている。また 4.0×10^{-9} strain に着目すると、三ヶ日12回、天竜49回に対し、

両観測点同時には調査期間中発生していないことがわかる。

第3表 2点同時ノイズレベル調査結果例(三ヶ日・天竜)
 階差時間60分の例。各欄に発生回数と発生割合(括弧内)を示す。斜体部分は各観測点単独での値である。

階差60分 (strain/60min)		三ヶ日			
		2.0e-9	3.0e-9	4.0e-9	5.0e-9
単独		372(2.85%)	40(0.39%)	12(0.16%)	10(0.10%)
天竜	2.0e-9	480(4.09%)	65(0.21%)	8(0.03%)	3(0.01%)
	3.0e-9	99(0.60%)	11(0.008%)	2(0.0007%)	0
	4.0e-9	49(0.31%)	4(0.001%)	0	0
	5.0e-9	23(0.05%)	0	0	0

このように観測点におけるノイズの原因が広域的な事象ではなく、局所的でランダムな場合は、観測点毎のノイズレベルと比較して2点同時のノイズレベルは低くなる。一方東海地震の前兆現象は広域にわたると推測され、2点同時の異常監視を行うことは前兆現象の早期検知に有効であると考えられる。

2点同時調査結果から、両観測点の発生割合が同程度で、かつ発生回数が1回以下となるレベルを読みとり、第4表に示す。ここに示したレベルは、2点同時異常監視を行う上で、基準となる値となる。発生割合が同程度という条件は、2点同時の監視結果がどちらか一方の観測点の変化量に大きく依存するのを避けるためのものである。

5. 異常監視処理の改良

今回のノイズレベル調査結果に基づいた異常監視処理の改良、及び監視基準値の変更をしたので概要を記す。

5.1 ノイズレベル調査に基づく改良

今回の調査の結果、降水期間と通常期間のノイズレベルが明らかに異なることが改めて確認された。リアルタイムの降水補正処理が実施されていない現時点では、観測点毎に降水期間と通常期間の自動判別を行い、異常監視の基準値を両期間で切り替えることにより、少なくとも通常期間に発生した有意な異常変化をより早期に検知することとした。体積歪観測点の雨量値、及び調査に使用した体積歪観測点近傍のアメダス観測点の雨量値を参照し、前24時間の積算降水量が規定値以上の場合は降水期間の基準値により、これ以外の場合は通常期間の基準値により異常判定を行うようにし

た。また降水期間、通常期間の基準値には、調査結果に基づく観測点毎の値を設定し、調査で用いたトレンド量を差し引きながら判定している。第5表に示すように、レベル1(画面表示)の基準値には第2表に示した調査期間内に1回発生するレベル、レベル2(音声報知)の基準値にはレベル1基準値に階差時間により異なる倍率をかけた値とした。また、分解能と同じ程度の設定値では異常検知が多発してしまうため最低値を設けた。

ノイズレベルの原因の多くは潮汐補正の残差であったが、1440分(24時間)階差ではこの残差の影響が小さくなることもあり、第2表を見ると平均的なノイズレベルは180分(3時間)階差の約2倍ほどでしかない。従来一番長い階差時間である3時間階差と比較して、24時間階差は時間スケールが1日以上よりゆっくりとした現象の検知に有効である。このため新たに24時間階差の監視を行うこととした。

2点同時調査結果に基づき、東海地域の2観測点ずつのグループを設定し、グループ内の2つの観測点がいずれも2点同時に設定した基準値を超えた場合に音声報知を行う処理を追加した。東海地震の前兆現象のように広域に体積歪変化が発生すると考えられている現象については、1観測点単独の基準値を満たすよりも早く2観測点同時による音声報知がなされ、より早期に前兆現象の検知ができるものと期待される。基準値には第4表に示したレベルを用い、1観測点毎の監視同様最低値を設けている。

5.2 今後の課題

異常監視処理において潮汐補正の残差が調査結果に基づいて設定した基準値を超えて音声報知されることが何度か発生した。この場合、発生した現象が異常監視上捕捉しなければならぬ変化でないことから、異常監視処理で用いる基準値を改訂している。また潮汐

第4表 2点同時ノイズレベル調査結果
各観測点の組み合わせに対し、上段値(右側観測点)、下段値(左側観測点)を同時に超える変化が調査期間中に1回以下発生した。

第5表 ノイズレベル調査結果と異常監視基準値
現在の異常監視処理で使用している基準値設定。

監視基準	通常期間		降水期間		最低値	
	レベル1	レベル2	レベル1	レベル2	レベル1	レベル2
階差時間	レベル1の		レベル1の			
SP 5分	第2表の値	2倍	第2表の値	1.5倍	2.0e-09	3.0e-09
LP 60分	第2表の値	1.2倍	第2表の値	1.5倍	5.0e-09	1.0e-08
LP180分	第2表の値	1.2倍	第2表の値	1.5倍	5.0e-09	1.0e-08
LP24時間	第2表の値	1.8倍	第2表の値	1.8倍	5.0e-09	1.0e-08

同時監視用の最低値はレベル1の場合と同様

補正の残差の目立つ観測点については潮汐応答係数を求め直し、残差を小さくするよう努めている。

異常監視処理で使用している観測点毎のトレンド量は調査に基づき一定としているが、トレンドが変化してきた場合には対応できない。また例えば銚子のように一定量以上の降水があると数週間にわたり体積歪の変化が継続するような場合には、一定のトレンド量を差し引く処理では着目する24時間以内の階差時間での変化量の監視上不都合である。今後、着目する階差時間での変化量の監視を効果的にするようなトレンド量の自動算出が必要となるだろう。

今回降水期間と通常期間の基準値を自動変更することで、主として通常期間の監視を強化したことになる。しかし前24時間内に降水がある期間は調査期間の約半分に達し、降水期間中に東海地震の前兆現象が発生した場合は、通常期間の場合よりかなり検知が遅くなる恐れがある。降水補正を試みた石垣(1995)の方法をリアルタイム処理に取り入れるなど、降水期間における監視も強化する必要がある。

謝辞

本調査は、平成8～9年度に地震防災対策強化地域判定会委員打ち合わせ会において報告したものをとりまとめたものである。本調査で使用した観測データは地震予知情報課諸氏の努力によって得られてきた貴重なものである。観測点の特有変化はじめ体積歪データの質については、小久保解析係長に助言をいただいた。

以上、記して感謝します。

文献

石垣祐三(1995)：埋込式体積歪データの精密補正及び異常識別について、*験震時報*, 59, 7-29.

石黒真木夫, 佐藤忠弘, 田村良明, 大江昌嗣(1984)：地球潮汐データ解析プログラムBAYTAP-Gの紹介, *統計数理研究所彙報*, 32, 71-85.

地域気象観測センター(1980)：地域気象観測システム, *測候時報*, 47, 305-321.

地震予知情報課(1996)：新EPOSの紹介, *地震火山技術通信*, 71, 1-11.

檜皮久義, 佐藤馨, 二瓶信一, 福留篤男, 竹内新, 古屋逸夫(1983)：埋込式体積歪計の気圧補正, *験震時報*, 47, 91-111.

付表1 観測点毎のノイズレベル調査結果
表の各項目の意味については本文参照。

埋込式体積歪計のノイズレベル調査及び異常監視処理

27

Table with columns for date (三ヶ日), station (論理ch 351), period (1995年6月~1996年11月), correction (補正分値), noise level (ノイズレベル), and scale (スケール10倍). Rows include noise level ranges from +2.500e-08 to -2.500e-08 and summary statistics like average and standard deviation.

Table with columns for date (三ヶ日), station (論理ch 41), period (1995年6月~1996年11月), correction (補正分値), noise level (ノイズレベル), and scale (スケール10倍). Rows include noise level ranges from +2.500e-07 to -2.500e-07 and summary statistics like average and standard deviation.

埋込式体積歪計のノイズレベル調査及び異常監視処理

Table with columns for station name (樽原), location (樽原), measurement period (1995.6~1996.11), correction factor (-3.5e-12 strain/分), reference location (降雨参照メダス地点), and rainfall (牧ノ原, 掛川). It contains a large grid of data points for various measurement intervals (5, 30, 60, 120, 180, 360, 720, 1440, 360, 720, 1440, 180雨) and a summary section at the bottom with statistics like average and standard deviation.

Table with columns for station name (御前崎), location (御前崎), measurement period (1995.6~1996.11), correction factor (-7.0e-12 strain/分), reference location (降雨参照メダス地点), and rainfall (御前崎, 牧ノ原). It contains a large grid of data points for various measurement intervals (5, 30, 60, 120, 180, 360, 720, 1440, 720, 1440, 180雨) and a summary section at the bottom with statistics like average and standard deviation.

藤枝 論理ch 91 1995年6月~1996年11月 補正分値 (トレンド除去量: -2.4e-12 strain/分) 降雨期間参照アメダス地点 高根山、牧ノ原、静岡

Table with columns for lag time (分), scale factor (スケール10倍), and various data points for station 91. Includes rows for maximum deviation, average, and standard deviation.

静岡 論理ch 351 1995年8月~1996年11月 補正分値 (トレンド除去量: なし) 降雨期間参照アメダス地点 静岡、麗六

Table with columns for lag time (分), scale factor (スケール10倍), and various data points for station 351. Includes rows for maximum deviation, average, and standard deviation.

土肥 論理ch 131 1995年6月~1996年11月 補正分値 (トレンド除去量: なし) 降雨期間参照メダス地点 土肥、湯ヶ島、松崎

Table with columns for lag time (階差時間), change amount (変化量), and scale factor (スケール). Rows list various numerical values for different lag times and scales.

石廊崎 (新) 論理ch 411 1996年6月~1997年11月 補正分値 (トレンド除去量: なし) 降雨期間参照メダス地点 石廊崎、松崎、稲取

Table with columns for lag time (階差時間), change amount (変化量), and scale factor (スケール). Rows list various numerical values for different lag times and scales.

東伊豆 論理ch 321 1995年6月~1996年11月 補正分値 (トレンド除去量: -3.5e-11 strain/分) 降雨期間参照メダス地点 稲取、天城山、湯ヶ島

Table with columns: 階差時間 (分), 5, 30, 60, 120, 180, 360, 720, 1440, 60N, 180南, 1440N. Rows include 変化する (伸び), values from +2.500e-08 to -2.500e-08, and summary statistics like 処理総数, 伸び最大, 縮み最大, 平均値, 標準偏差.

網代 論理ch 161 1995年6月~1996年11月 補正分値 (トレンド除去量: -6.0e-12 strain/分) 降雨期間参照メダス地点 網代、三角

Table with columns: 階差時間 (分), 5, 30, 60, 120, 180, 1440, 120, 180, 360, 720, 1440, 180南. Rows include 変化する (伸び), values from +2.500e-08 to -2.500e-08, and summary statistics like 処理総数, 伸び最大, 縮み最大, 平均値, 標準偏差.

満河原 観理ch 171 1995年6月~1996年11月 補正分値 (トレンド除去量: なし) 降雨期間参照アメダス地点 網代、箱根、小田原

Table with columns for lag time (5, 30, 60, 120, 180, 360, 720, 1440, 1440, 180分) and amplitude (変化量). Rows include values from +2.500e-08 to -2.500e-08, and summary statistics like 処理総数, 伸び最大, 縮み最大, 平均値, and 標準偏差.

栗野 観理ch 181 1995年6月~1996年11月 補正分値 (トレンド除去量: なし) 降雨期間参照アメダス地点 小田原、丹沢湖、平塚

Table with columns for lag time (5, 30, 60, 120, 180, 360, 720, 1440, 180分) and amplitude (変化量). Rows include values from +2.500e-08 to -2.500e-08, and summary statistics like 処理総数, 伸び最大, 縮み最大, 平均値, and 標準偏差.

横浜 論理ch 211 1995年6月~1996年11月 補正分値 (トレンド除去量: -4.5e-12 strain/分) 降雨期間参照メダス地点 相模原、日吉、横浜

Table with columns for lag time (5, 30, 60, 120, 180, 360, 720, 1440, 1800) and strain change (e.g., +2.500e-08, +2.400e-08, etc.). Includes summary statistics at the bottom like '処理総数' and '伸び最大'.

三浦 論理ch 221 1995年6月~1996年11月 補正分値 (トレンド除去量: -2.0e-12 strain/分) 降雨期間参照メダス地点 三浦、佐久間、辻堂

Table with columns for lag time (5, 30, 60, 120, 180, 360, 720, 1440, 1800) and strain change (e.g., +2.500e-08, +2.400e-08, etc.). Includes summary statistics at the bottom like '処理総数' and '伸び最大'.

Table with columns for measurement time (5, 30, 60, 30, 60, 120, 180, 360, 720, 1440, 180分), change amount (scale 10x), and various statistical values like average and standard deviation.

Table with columns for measurement time (5, 30, 60, 120, 180, 180, 360, 720, 1440, 180分), change amount (scale 100x), and various statistical values like average and standard deviation.

八日市場 論理ch 261 1995年6月~1998年11月 補正分値 (トレンド除去量: -1.5e-12 strain/分) 降雨期間参照アマダス地点 横芝、東庄、佐原

大多喜 論理ch 271 1995年6月~1998年11月 補正分値 (トレンド除去量: なし) 降雨期間参照アマダス地点 黒原、坂畑、跡清

大多喜 論理ch 271 1995年6月~1998年11月 補正分値 (トレンド除去量: なし) 降雨期間参照アマダス地点 黒原、坂畑、跡清

鶴川 論理ch 301 1995年6月~1998年11月 補正分値 (トレンド除去量: なし) 降雨期間参照アメダス地点 鶴川、坂畑

Table with columns for lag time (階差時間), scale (スケール), and various numerical values. Includes summary statistics at the bottom.

鏡子 論理ch 311 1995年6月~1998年11月 補正分値 (トレンド除去量: なし) 降雨期間参照アメダス地点 鏡子、東庄

Table with columns for lag time (階差時間), scale (スケール), and various numerical values. Includes summary statistics at the bottom.

Table for Iiyama Lake (旧) with columns for measurement time (5, 30, 60, 120, 180, 1440) and scale (180, 360, 720, 1440, 1800). It lists noise level fluctuations and summary statistics like average and standard deviation.

Table for Iwadate (旧) with columns for measurement time (5, 30, 60, 120, 180, 5N, 120, 180, 360, 720, 1440, 1800, 180N) and scale (180, 360, 720, 1440, 1800). It lists noise level fluctuations and summary statistics.