

千葉県東方沖の地震に伴った 体積歪計の記録について*

山田 尚幸**・佐藤 馨**

On Strain Records of The Volumetric Strainmeter Associated with the
Earthquake off the East Coast of Chiba Prefecture on Dec. 17, 1987

N. Yamada and K. Sato.

(Earthquake Prediction Information Division, J. M. A.)

The Japan Meteorological Agency (J. M. A.) is now operating borehole-type volumetric strainmeters at 31 locations in the Tokai and the south Kanto districts. Strain seismograms and strain steps associated with the earthquake which occurred off the east coast of Chiba Prefecture, Japan, on Dec. 17, 1987 (M = 6.7) were observed by the volumetric strainmeters.

Focal mechanism solution of the mainshock was determined by the initial motion polarities of the short-period (SP) component of strain records by the JMA.

That mechanism was fairly consistent with the one which was determined by short period seismometers.

Next, we compared the observed steps with the theoretical ones. The former were investigated by the long-period (LP) component, while the latter were calculated on an appropriate fault model. Amounts and polarities of observed steps at several stations mainly in south Kanto were inconsistent with theoretical steps. At these stations, after-effect changes of strain trends were observed.

From the recent study about Rayleigh waves and atmospheric pressure, these stations are considered to have large a Poisson's ratio and the surrounding materials to be non-elastic. The inharmonies of steps and the after-effect change of trend may be related to the movements of the surrounding materials.

§ 1. はじめに

気象庁では、東海・南関東の31地点で、体積歪計による地殻変動連続観測を行なっている。各観測地点から伝送されてくるデータは、常時監視されるとともに、永年の体積歪の変化や、異常現象等の解析処理が行われている。

1987年12月17日、千葉県東方沖にM 6.7の地震が発生した〔気象庁地震予知情報課(1988)〕。この地震に伴い、各体積歪計(以下、歪計)観測地点で、地震波および歪ステップが観測された。本稿では、歪計による地震波初動を用いた発震機構の解析、およびステップの理論値と観測値の比較解析、さらに顕著な余効変化が観測されたことについて報告する。

§ 2. データ

Fig.1に、歪計の観測地点と今回の本震の震央を示す。

歪計出力には、短周期(SP)成分と長周期(LP)成分の2種類があり、それぞれ周波数特性、サンプリング周期が異なる(Fig.2, Table1)。また、観測システムは、設置年度により、センサの機構、サンプリング周期、フィルタの構成に若干の違いがあり、Table1のようにI, II, IIIの3つのグループに分けられる〔佐藤他(1986)、二瓶他(1987)〕。

Fig.12-(a), (b)に、本震の全地点のSP成分、LP成分の記録を示す。各記録は、気圧・潮汐の補正をほどこさない生の波形である。

* Received Sep. 20, 1988

** 気象庁地震予知情報課

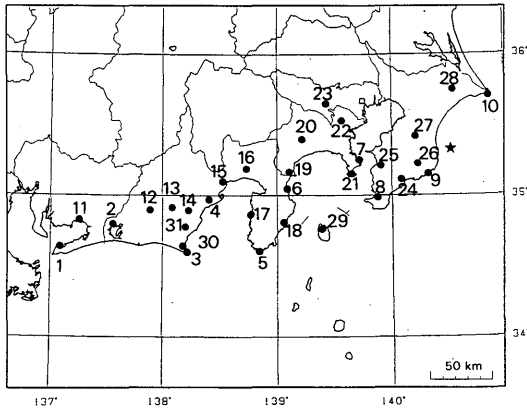


Fig.1 Location map of the observation sites.

1: IRAKO, 2: MIKKABI, 3: OMAEZAKI, 4: SHIZUOKA, 5: IROZAKI, 6: AJIRO, 7: YOKOSUKA, 8: TATEYAMA, 9: KATSUURA, 10: CHOSHI, 11: GAMAGORI, 12: TENRYU, 13: KAWANE, 14: FUJIEDA, 15: SHIMIZU, 16: FUJI, 17: TOI, 18: HIGASHIZU, 19: YUGAWARA, 20: HADANO, 21: MIURA, 22: YOKOHAMA, 23: HINO, 24: KAMOGAWA, 25: FUTTSU, 26: OTAKI, 27: NAGARA, 28: YOKAICHIBA, 29: OSHIMA, 30: HAMAOKA, 31: HAIBARA. □: Japan Meteorological agency. ★: The epicenter of the earthquake which occurred off the east coast of Chiba Prefecture, Japan, on Dec. 17, 1987 (M 6.7).

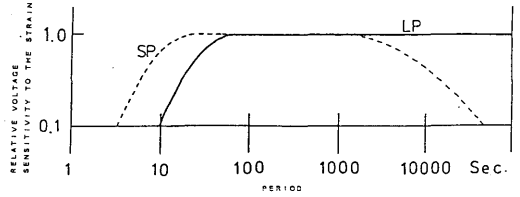


Fig.2 Frequency response curve of the volumetric strainmeter in JMA.

§ 3. メカニズム解

SP成分の記録から、本震の地震波初動の極性を読み取り、メカニズム解をもとめることを試みた。SP成分は、Fig.2に見られるように、周期10秒から2時間まで特性がフラットと見せる長周期地震計としての性質を備えている。Fig.3に、SP成分の初動部分の記録例を示す。

初動の極性を調べるにあたって、サンプリング間隔が1秒あるいは2秒 (Table1) と長いことから、短周期で得られるP波初動の発現時と異なる可能性があるため、初動の発現時刻に、特に注意した。理論走時 (深さ50km) と比較すると、石廊崎で1秒早く、榛原と天竜で6秒遅れであり、他は0~5秒遅れであった。気象台や測候所に歪計が設置されている場所の、短周期地震計によるP波到達時をFig.3に矢印で示す。歪計初動の遅れは、1秒ないし2秒であった。歪計の周波数特性、サンプリング周期を考えれば、これらの時間差は妥当なものと考えられる。以上の結果から31地点すべての初動を採用した。

Fig.4およびTable2に、初動の極性を読み取った結果を示す。Fig.5に、2種類のメカニズム解を示す。図中、歪計の初動の極性のみがプロットされている。

(a)は、気象庁・防災センター・東大・名大の地震計のデータによるメカニズム解 (気象庁地震予知情報課 (1988))、(b)は、歪計のデータだけから求めたメカニズム解である。いずれも、ほぼ北東-南西圧縮の横ずれ型であるが、歪計による結果は、地震計による結果を反時計回りに10°ほど回転させた位置になっている。

地震によっては、初期破壊と主破壊でメカニズム解が異なり、短周期波、長周期波に、その違いが反映されることも考えられる。しかし、得られた2つのメカニズム解は、節面選択の任意性や、歪計の観測点分布を考えると、有意な差があるとはいえず、おおむね一致したとみてよい。

SYSTEM	SAMPL. TIME (SEC.)		STATION NAME
	SP	LP	
I	2	10	IRAKO (1), MIKKABI (2), OMAEZAKI (3), SHIZUOKA (4), IROZAKI (5)
I I	1	5	AJIRO (6), YOKOSUKA (7), TATEYAMA (8), KATSUURA (9), CHOSHI (10)
I I I	2	10	GAMAGORI (11), TENRYU (12), KAWANE (13), FUJIEDA (14), SHIMIZU (15), FUJI (16), TOI (17), HIGASHIZU (18), YUGAWARA (19), HADANO (20), MIURA (21), HINO (23), KAMOGAWA (24), FUTTSU (25), OTAKI (26), NAGARA (27), YOKAICHIBA (28), OSHIMA (29), HAMAOKA (30), HAIBARA (31)

Table1 Observation system and sampling period.

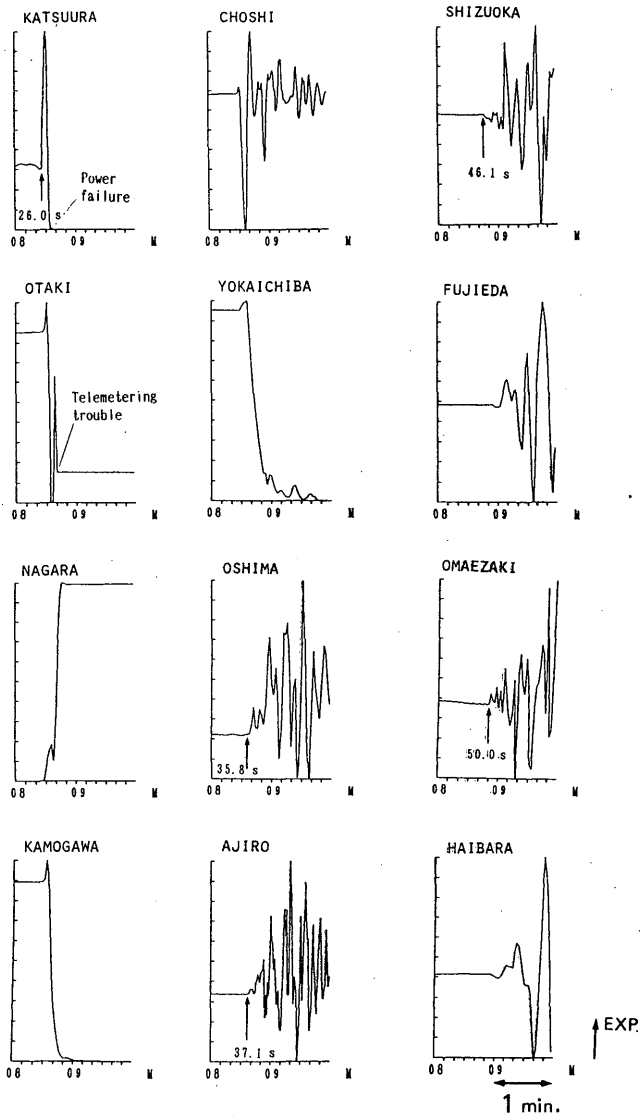


Fig.3 Initial motion by the SP-component. Full scale of each strain record is arbitrary. Time is shown by abscissae, the numerals of which show minutes. Arrows in frames and the numerals show P-arrival time on the seismograph installed at the same site.

§ 4. コサイスマックステップ

本震の際には、コサイスマックステップも多くの地点で観測されている。観測されたステップの極性と大きさを測定し、理論的に得られるステップと比較することを試みた。

(1) ステップの形状

観測されたコサイスマックステップは、Fig.12に示したLP成分の記録からわかるように、地点によって形状が大きく異なる。震源に近い房総半島の長柄や八日市場では、明瞭なステップ状変化が現われた。銚子では、一度パルス状波形を描いたのちステ

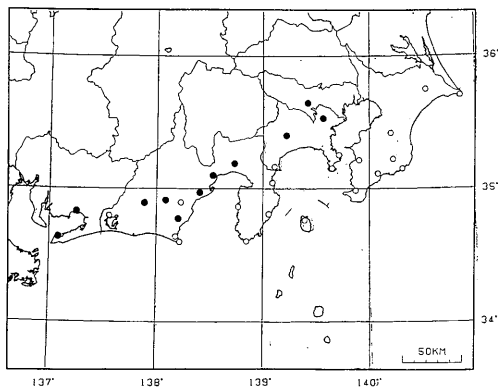
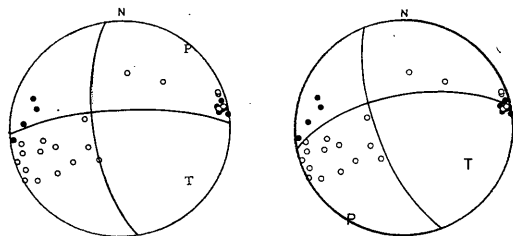


Fig.4 Distribution of initial motion polarities of the SP-component. Expansion is expressed by an open circle and compression by a solid one.



STRIKE DIP
A N 8.7W 69.8
B N86.7E 75.6

AZ IN
P 48.2 86.1
T 130.0 65.2

(a)

STRIKE DIP
A N21W 71
B N78E 65

AZ IN
P 209 86
T 117 58

(b)

Fig.5 Focal mechanism solutions. The circle shows polarities of initial motions of the SP-component. Expansion and compression are expressed by open and solid circles, respectively, projected on the upper hemisphere. AZ: azimuth, IN: inclination.

(a): The distribution of initial motion of the SP component projected on the mechanism determined by short-period seismometers (after JMA, Tokyo univ., Nagoya univ. and National Research Center for Disaster Prevention). (b): Mechanism solution determined by volumetric strain records and distribution of initial motion of the SP-component.

	LAT. ° N	LON. ° E	Δ km	INIT. SENCE (SP)	COSEISMIC STEP (LP)		
					OBSERVED	THEORETICAL	
					E-09 STRAIN	E-09 STRAIN	
1	IRAKO	34.63	137.08	322	C	O	E 0.5
2	MIKKABI	34.80	137.55	275	E	O	E 0.8
3	OMAEZAKI	34.60	138.22	223	E	E 4.5	E 2.4
4	SHIZUOKA	34.97	138.40	195	C	E 9.9	E 2.2
5	IROZAKI	34.60	138.85	171	E	C 4.5	E 5.9
6	AJIRO	35.05	139.10	131	E	-	E 7.2
7	YOKOSUKA	35.25	139.72	72	E	-	E 9.7
8	TATEYAMA	34.98	139.87	69	E	E 9.4	E 15.2
9	KATSUURA	35.15	140.32	26	E	-	C 103.1
10	CHOSHI	35.70	140.85	52	E	C 16.0	C 29.3
11	GAMAGORI	34.83	137.25	302	C	O	E 0.5
12	TENRYUU	34.90	137.88	244	C	O	E 1.0
13	KAWANE	34.93	138.08	225	C	E 3.5	E 1.4
14	FUJIEDA	34.90	138.23	212	E	E 4.5	E 1.8
15	SHIMIZU	35.10	138.52	182	C	E 12.0	E 2.0
16	FUJI	35.18	138.73	162	C	C 12.5	E 2.3
17	TOI	34.87	138.77	166	E	E 2.7	E 4.8
18	HIGASHIZU	34.82	139.05	144	E	E 5.0	E 8.0
19	YUGAWARA	35.17	139.10	129	E	O	E 5.4
20	HADANO	35.40	139.20	118	C	C 18.2	E 1.0
21	MIURA	35.15	139.65	80	E	-	E 14.9
22	YOKOHAMA	35.53	139.55	89	C	C 14.1	C 3.0
23	HINO	35.65	139.42	104	C	-	C 6.8
24	KAMOGAWA	35.12	140.08	45	E	C 309.7	C 57.0
25	FUTTSU	35.22	139.90	56	E	E -	C 9.2
26	OTAKI	35.23	140.23	27	E	C 1.3	C 207.2
27	NAGARA	35.42	140.20	29	E	E 837.3	C 99.0
28	YOUKAICHI	35.75	140.53	46	E	C 346.3	C 86.9
29	OSHIMA	34.77	139.38	120	E	E 22.0	E 13.5
30	HAMAOKA	34.63	138.18	226	E	E 1.5	E 2.2
31	HAIBARA	34.78	138.20	219	C	E 1.7	E 2.0

Table 2 Initial motion polarities of strain records (SP), and observed and theoretical values of coseismic steps by strain records (LP) at each station. 'E' stands for expansion and 'C' for compression. 'O' stands for non-changing and '-' for non-used or unknown values.

ップしている。また、網代や日野のように、一度ステップしたのち数分で元に戻った地点や、湯河原のようにステップは観測されず、地震波を描いた地点もあった。このように、様々な応答を示すのは、歪計が地点によっては、震源の断層運動を反映するよりも、地震動による局地的な媒質の動きによる影響を受けているためであると考えられる〔佐藤他(1986)〕。

(2) ステップの極性と量

ステップの極性と量は、一般に地震動の前後の記録のずれから読み取るが、地震中の零線のとり方や、余効変動が含まれたときの記録の読み取りには、ある程度の任意性が混入することは避けられない〔岡

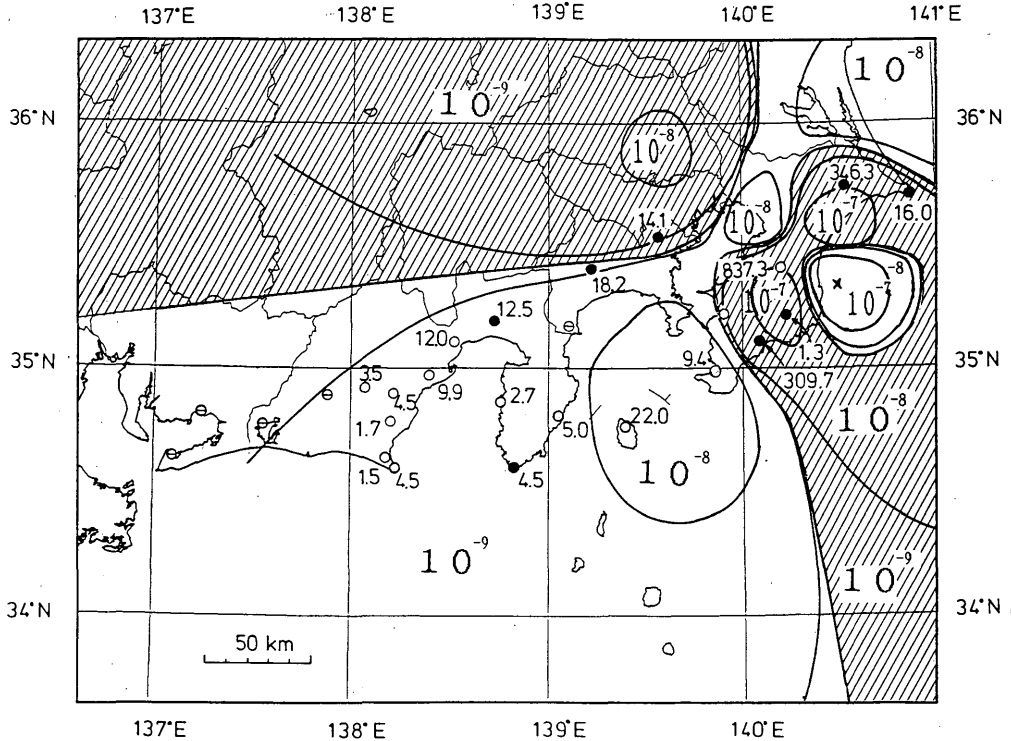


Fig.6 Distribution of signs of coseismic steps. Theoretical steps are expressed by isovalued lines and power numbers. Observed steps are expressed by open and solid circles and the side numbers ($\times 10^{-9}$ strain). Open circles and unhatched areas show expansion. Solid circles and hatched areas show compression. Marks of \ominus show 'no change'.

田(1980))。本稿では、数時間後の余効変動の影響を避けるため、11時08分の前後のずれを読みとった。本震をはさんだ10時50分~12時20分の90分間にLP成分のステップが元に戻ったり、逆極性になった地点(網代、横須賀、三浦、日野)は除いた。また、房総半島で、停電や伝送障害があった地点のうち、勝浦、富津は回線復旧後の歪量が特定できなかったために除いた。ただし、富津は地震直後の変化が読み取れたので、極性のみを用いた。読み取った結果をTable 2に示す。

なお、気圧変化1mbに対する歪計の応答は 10^{-8} ストレインのオーダーである。上記の期間の気圧変化量は、0.4mb~1.7mbであるが、変化のしかたはゆるやかなものであったため、以上のステップは地震によるものと考えられる。

本震の断層運動から期待される歪ステップの理論値は、Sato and Matsu'ura(1974)による計算式を用いた。計算に用いた断層パラメータを以下に示

す。各値は前述のメカニズム解(b)、震源分布およびマグニチュードから仮定した。ただし、すべり量については、後述するように、M6.7で与えるよりも少し小さい方が、ステップの観測値をよく説明するため小さくした(M6.6に相当)。

長さ×幅	17.3km×27.0km
下端の深さ	50km
走向	339°
傾斜角	71°
すべり角	154°
すべり量	46cm
ポアソン比	0.25

得られた理論ステップは、観測値とともにTable 2にまとめた。Fig.6に、理論ステップのパターンと実際の観測値を併せて示した。

極性は、富士、泰野、石廊崎、富津、長柄で逆となったが他の地点では一致している。逆となった5地点のうち、富士、泰野は、長野県西部地震のとき

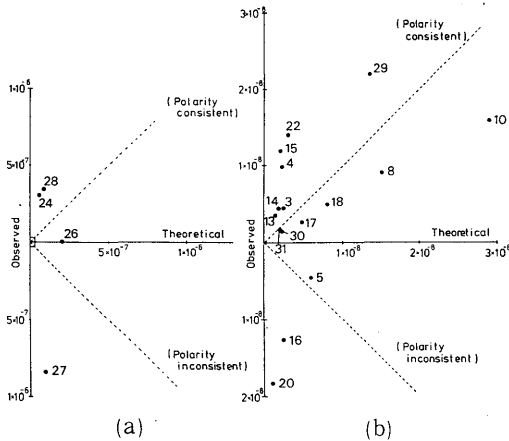


Fig.7 Amounts of observed steps are compared with the theoretical ones. Absolute values of theoretical steps are given as abscissae and amounts of observed steps of consistent polarity data are given on the positive side of ordinate, while those of inconsistent data are on the negative side of ordinate. The central part of (a) is enlarged and shown in (b). The numerals correspond to the station numbers in Fig. 1.

にも極性が逆になっており、観測地点の周辺媒質の影響を受けている可能性がある(佐藤他(1986))。房総半島に位置する富津、長柄については、歪計周辺の岩質が軟弱であることから、上記の可能性は大きいといえる。石廊崎の場合は、同じ理由があてはまるかどうかはわからない。少なくとも、房総半島地域にある地点や、富士などは、過去の地震の調査でも極性不一致となったことがあり、また通常でも地震を伴わない特異な現象が発生している。

次に、ステップ量について比較する。値を比較しやすいよう、理論値と観測値を対応させてプロットしたのがFig.7である。横軸に理論ステップ量の絶対値をとり、縦軸正側には極性の一致したもの、負側には一致しなかったものについて観測値をプロットした。(a)図の原点付近の囲み(3.0×10⁻⁸以下)を拡大したのが(b)図である。両者が合致すれば、正側の45°の直線にのるはずであるが、全ての地点でよく一致しているとはいえない。

極性が一致した地点に注目し地域別にみると、東海地域では清水、静岡を除いてオーダーで一致して

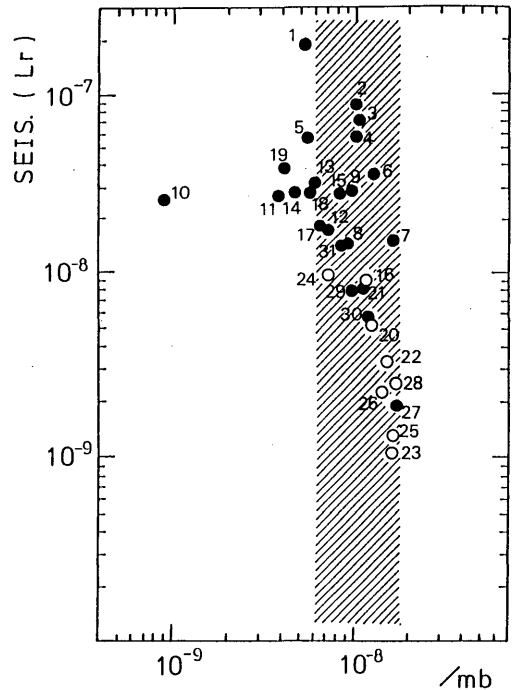


Fig.8 Correlation between strainmeter output for atmospheric pressure change and that for Rayleigh waves. The hatched belt shows the region where the atmospheric pressure coefficient moves when Poisson's ratio varies from 0.0 (left side) to 0.5 (right side). Nonseismic steplike phenomena caused by underground water are occasionally observed at the stations of open circles. Correspondence of station numbers and station names is given in Fig. 1. [after Furuya and Hikawa (1983)]

いる。南関東地域では、横浜、八日市場、鴨川で観測値が非常に大きく、大多喜では小さい。その他、銚子、大島、館山は比較的よく合っている。全体としては、房総半島地域での値の不一致が目立つ。

房総半島の各観測地点は、震源に近いところに位置するため、震源の位置やパラメータによっては、理論ステップのパターンが変わり、理論値が大きく変わる可能性がある。しかし、それを考慮しても、房総半島の各地点のステップ量や極性をすべて説明するのは難しく、その地点固有の周辺媒質による影響が大きいと考えられる。

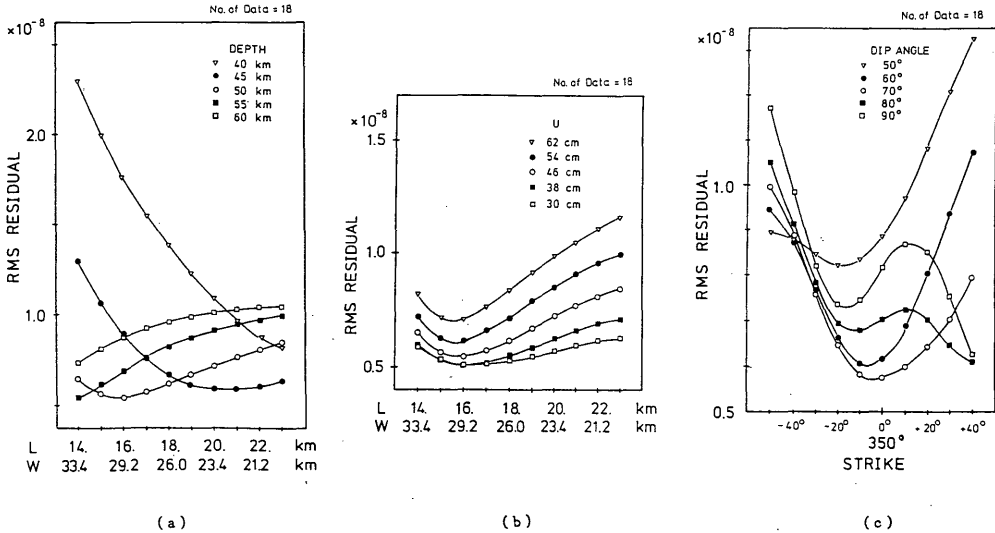


Fig.9 RMS residual of strain as a function of (a) length, width and depth of the bottom of the fault, (b) length, width and slip value, (c) strike and dip angle of the fault. Other parameters are constant.

§ 5. 周辺媒質と歪ステップ

歪計の周辺媒質と歪ステップの関係を考える。古屋・松皮(1983)は、遠地震で観測されたレーリー波振幅と1 mbの気圧変化に対する歪計出力の変化量を観測地点ごとに求め、Fig. 8に示すような結果を得た。横軸に気圧応答、縦軸にレーリー波振幅を示す。半無限弾性体を仮定し、ポアソン比を0~0.5まで変えると、気圧変化に対する歪計出力は、Fig. 9の斜線の幅を動くことになる(右端がポアソン比0.5)。また、理論的にはポアソン比が大きくなるに従い、気圧応答は大きく、レーリー波振幅は相対的に小さくなる。Fig. 8の傾向はそれと定性的に合っており、図の右下の地点ほど、周辺媒質が非弾性的であると考えられることができる。図中の白丸は、地下水の影響によると思われる変化がしばしば観測される地点である。

Fig. 8で右下にプロットされている地点、すなわち気圧応答が大きく、レーリー波振幅の小さい(レーリー波振幅 4×10^{-9} ストレイン以下) 地点、日野(23)、富津(25)、長柄(27)、大多喜(28)、八日市場(28)、横浜(22)、さらに白丸で記した地点のうち、残りの泰野(20)、富士(16)、鴨川(24)を加えた9地点に注目してみる。コサイスマックスステップが観測された地点のうち、極性不一致の地点(富津、長柄、泰野、富士)や、値

が合わなかった地点(大多喜、八日市場、鴨川、横浜)がこの中に含まれている。このことから、各地点のステップが、周辺媒質の弾性的性質の影響を受けていることが推察される。

歪計の周辺媒質については、吉川(1987)が各地点の弾性定数をモデル計算によって推定している。その中で、歪計31地点をヤング率の大きい順にA、B、Cの3つのクラスに分類しているが、これによると最初に挙げた9地点はいずれもCもしくはBに属し、ヤング率は小さい。今回のステップの観測結果とも大いに関係がある。

以上を考慮して仮定した断層パラメータの妥当性を調べた。ステップ量が観測された25地点のうち、長柄、泰野、富士、大多喜、八日市場、鴨川、横浜の7地点を除いた18地点の歪ステップの残差二乗平均(観測値と理論値の差の二乗平均の平方根)を断層パラメータの変化に対してプロットした。Fig. 9-(a)は、断層の下端の深さと、長さ×幅(面積467 km²)を変化させた例、(b)は、すべり量と長さ×幅を変化させた例、また(c)は、傾斜角と走向を変化させた例である。いずれの場合も他のパラメータは固定にしてある。深さ50km、長さ×幅が16×29km付近、すべり量が46cmよりも小さい量で、また走向、傾斜はそれぞれ350°、70°付近で最小となる。25地点全てを使った場合は、うまく収束しない。このことか

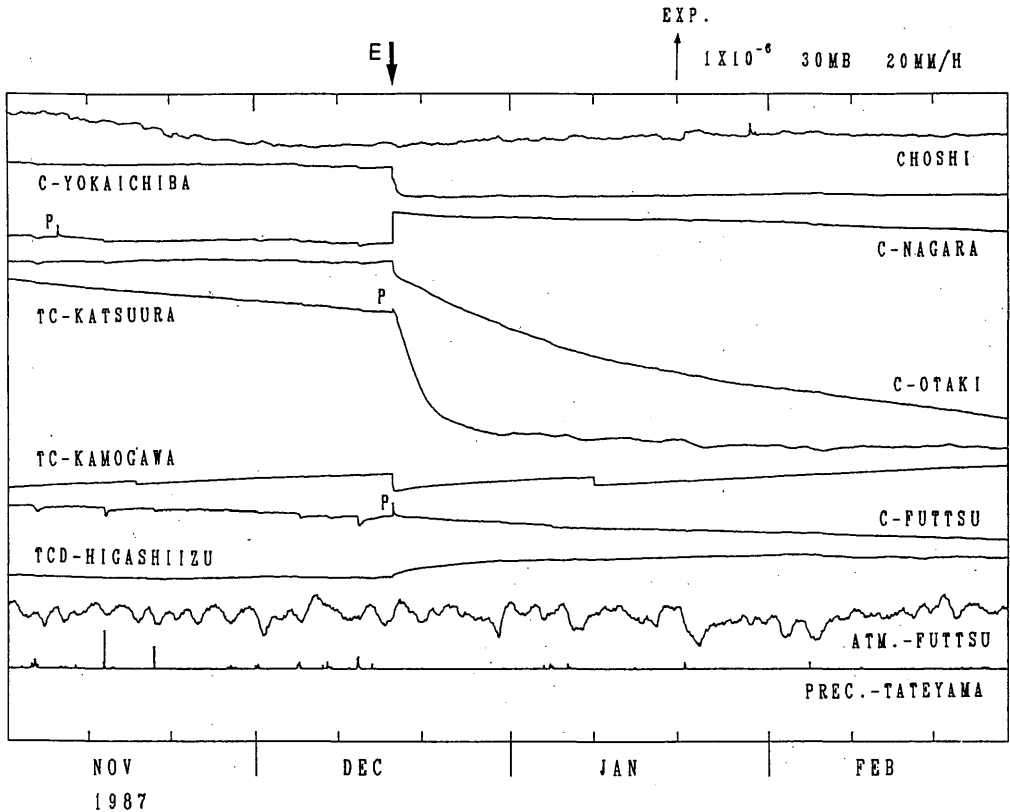


Fig.10 Variation of crustal strain observed by volumetric strainmeter (November, 1987-February, 1988). P: Power failure. T: Telemetry trouble. The step at Kamogawa on Jan. 11 is non-seismic. Such a step occurs occasionally there. C-: Values corrected for atmospheric pressure change. TC-: Values corrected for atmospheric pressure and tidal change. TCD-: Values corrected for atmospheric pressure and tidal change and trend.

ら、周辺媒質の性質が非弾性的と考えられる地点を除けば、観測されたステップからも、仮定した断層パラメータは、ある程度妥当であるといえる。

§ 6. 長期的変化

1987年11月1日から1988年2月末までの期間の震源域に近い房総半島地域および東伊豆の歪変化を、Fig.10に示す。銚子以外の各地点のデータは気圧の影響を除去し(地点名にC-と表示)、さらに潮汐の大きい地点のデータについては潮汐の影響も除去してある(地点名にTC-と表示)。また東伊豆は1日当たり約 0.1×10^{-6} ストレインの伸びのトレンドも除去してある(TCD-東伊豆)。

鴨川、勝浦、大多喜、長柄、八日市場では12月17日の地震をはさんで明瞭な変化が発生し、勝浦では

12月末頃まで、大多喜では3月末頃まで顕著な余効変化が続いた。また§ 4、§ 5で述べたように、八日市場、長柄、大多喜、鴨川のコサイスミックな変化は、ステップの極性や大きさが理論値と合わず、周辺媒質による影響と考えられる。

Fig.11に上記地点の1987年11月17日0時から18日08時までの変化を示す。勝浦データのゆらぎは海洋潮汐の影響によると考えられる。

八日市場では本震に伴った変化の他、14時07分(M4.4)、21時37分(M4.3)の余震に際して僅かに縮み、各余震の1~2時間後にも縮み変化が増大した。しかし翌18日06時05分(M4.2)については同程度の規模にもかかわらず余震後の傾向に変わりはなかった。その後はトレンドも次第に平坦になった。

勝浦では本震発生後に停電があり、ステップ量は

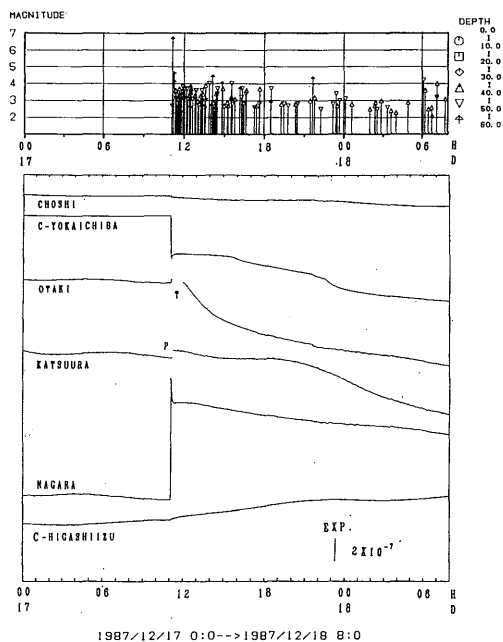


Fig.11 the east coast of Chiba Pref. and variation of crustal strain observed by volume tric strainmeter. (December, 17-18, 1987) P: Power failure. T: Telemetering trouble. C-: Values corrected for atmospheric pressure change.

特定できなかったが、復電後から縮み変化が観測された。18日0時頃は3時間当りの変化量が 0.1×10^{-6} ストレインに増大したが、3日後から変化量は次第に減少し、12月末にはほぼおさまった。地震直前から12月末までの変化量は 3.5×10^{-6} ストレインの縮み量に達した。地震前の勝浦のトレンドは1カ月当り 0.5×10^{-6} ストレインの縮み変化であったが、1988年1月からはトレンドがほぼゼロに変わっている。勝浦の記録に対しては 1.04×10^{-8} ストレイン/mbの気圧係数を用いて気圧補正を行なっているが、1988年1月以降の記録には気圧による影響が表われている。この原因としては、①地震動により周辺媒質の気圧に対する応答が変わった可能性と、②勝浦の積算歪が観測開始から地震直前までに 1.6×10^{-4} ストレインに達しており、地中センサーの測定限界にあったことから、地震発生時の大きな地震動をうけて地中センサーの受感部に歪屈が生じた疑いもある。

大多喜はFig.6で示す通り理論ステップ量の大きい地域にある。本震発生後、約40分間の伝送障害があり、この間の変化の状況は不明であるが、§3で

述べたようにステップ量はごく小さいものであった。しかし本震発生後1時間後から大きな縮み変化が発生し、12時から15時までの3時間に 0.3×10^{-6} ストレインの顕著な縮み変化を示した。その後、変化量はゆるやかに減少しつつ3月末頃まで続いた。地震からの変化量は 5×10^{-6} ストレインに達した。

東伊豆では地震直後から伸びのトレンドが増大し、約10日間で 0.5×10^{-6} ストレインの変化を示した。

地震により地下の状態が変わったことや、クリープ現象を示唆する地殻変動データの余効現象あるいは地震前後でトレンドが変化しとの報告は数多くある〔大谷(1988)、三上他(1988)〕。今回大きな余効変化が観測された大多喜では1986年6月24・25日に房総半島南東沖に発生した地震(M6.5および5.1)の時も地震発生の数日後から縮み変化が始まり、約1カ月間で 2×10^{-6} ストレインの縮み変化を示した。

東伊豆でも同地震や、1982年8月12日に三浦半島沖に発生した地震(M5.7)の後で、今回のように伸びのトレンドが増大した。東伊豆では1986年11月21日や1987年11月18日の伊豆大島の噴火に際しても伸び変化が増大する現象が観測されている。これらの時期に対応して東伊豆周辺の自噴泉の温度が変化した〔茂木他(1986, 1987, 1988)〕。東伊豆の歪観測地点は温泉地帯にあり、観測開始以来、地中温度の影響によると見られる顕著な伸び変化をしている。地震や噴火による地下の応力場の変化を反映するほか、一部は地下水の温度変化の影響によると考えられる。

勝浦で、今回のような余効変化が現われたのは、1977年4月の観測開始以来はじめての現象であった。

房総半島地域の歪計は地下150~300mの未固結な砂岩や泥岩の互層に埋設されている。余効変化が観測された地点は房総半島中部の丘陵地帯にある。地層は下から上総層群下部・中部・上部(笠森層)→下総層群→関東ローム層の順に斜層を形成している。あるいは厚い下総層群(成田層)で覆われている。今回の地震では家屋等の被害が集中し、相当大きな地震動をうけた。

千葉県はガス田地帯にあり、沖積層はかなりの水分を含んでいる〔大森他(1986)、楡井(1981)〕。このことは、千葉県内の歪データが気圧の影響を大きく受けることから伺える〔松皮他(1983)、古屋他(1983)〕。このように軟弱な地盤は強い地震を受けるとその中に含まれている地下水やガスが移動し、場合によってはある時間を経て、または降雨を契機として帯水層が相互干渉し合い、その動きが地殻で

ータに反映するものと考えられる。地下水の状態は非定常であるため地震動による地下水の挙動もその時々、場所場所で異なり、地殻変動観測データに多様な現象をもたらす。今回の地震でも地震動による地下水の挙動の地表面現象として、地すべりや多くの噴砂現象があった。歪計が埋設されている付近の帯水層にも何等かの変化があったものと推察される。

余効現象が観測された地点とコサイスマックステップが理論値と不調和であった地点はほぼ共通しており、松皮ら(1983)、古屋ら(1983)、吉川(1987)等に指摘されているように周辺媒質が弾性的に振舞わないとされている地点であった。

なおFig.10, 11 から見るとおり、震源域周辺の地点に限ってみても、観測データからは前兆的变化は検知されなかった。

§ 7. まとめ

千葉県東方沖の地震(1987. 12. 17)によって歪計で得られた地震波、歪ステップ、地震後の余効現象について調べた。

地震波初動の極性から得られたメカニズム解は、短周期地震計から得られたものとほぼ一致した。

次に、観測された歪ステップと、断層モデルを仮定して得られた歪の理論ステップを比較した。極性及びステップ量ともに、全ての点で一致したとはいえなかった。不一致となった地点は、南関東地域に多く、これらの地点は、気圧応答やレーリー波応答などからも、周辺媒質が弾性的に振るまわれないことが指摘されている。今回のステップも歪計の周辺媒質の影響による可能性がある。

余効現象として、長期にわたる縮みや伸びの現象がみられた。これらの地点は、房総半島のいくつかと、東伊豆である。これらについても、地下水等の周辺媒質の動きを反映していると思われる。

謝 辞

本論をまとめるにあたり、気象研究所古屋逸夫氏、気象庁地震予知情報課二瓶信一氏に御助言をいただいた。合わせて深く感謝致します。また気象庁地震予知情報課解析係の各諸氏に作図の御協力を、さらに気象庁地震予知情報課の各方々から多くの御援助をいただき、御礼申し上げます。

参考文献

- 大谷文夫(1988):1987年3月18日日向灘地震に関連した地殻変動, 地震学会講演予稿集, 1988, No.2, 89.
- 大森昌衛, 端山好和, 堀口万吉(1986):日本の地質「関東地方」, 共立出版.
- 岡田義光(1980):1974年伊豆半島沖地震および1978年伊豆大島近海地震に伴った歪・傾斜ステップについて, 地震, 33, 525-539.
- 気象庁地震予知情報課(1988):千葉県東方沖の地震活動(1987年12月), 地震予知連絡会々報, 40, 72-80.
- 佐藤 馨, 二瓶信一, 福留篤男, 上垣内修, 高橋 博(1986):長野県西部地震 第3章地殻変動観測, 3.1体積歪計による観測, 気象庁技術報告, 107, 36-43.
- 二瓶信一, 上垣内修, 佐藤 馨(1987):埋込式体積歪計による観測(1) 1976~1986年の観測経過, 験震時報, 50, 65-88.
- 楢井 久(1981):堆積盆中の地下水流動史と地殻変動, 堆積盆中の流体移動, 東海大学出版会, 151-171.
- 松皮久義, 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.
- 古屋逸夫, 松皮久義(1983):気圧変化及びレーリー波入射に対する埋込式体積歪計の応答, 験震時報, 48, 1-6.
- 三上直也, 柏原静雄, 長田芳一, 石川有三(1988):松代の伸縮計で観測された地震の余効変動, 地震学会講演予稿集, 1988, No.1, 241.
- 茂木清夫, 望月裕峰, 黒川義男(1986):伊豆一宇佐美温泉の自噴泉の温度変化, 地震予知連絡会々報, 35, 249-251.
- 茂木清夫, 望月裕峰, 黒川義男(1987):伊豆一宇佐美温泉の温度変化, 地震予知連絡会々報, 38, 313-315.
- 茂木清夫, 望月裕峰, 黒川義男(1988):千葉県東方沖地震に伴う宇佐美24号泉の温度変化, 地震予知連絡会々報, 40, 186-188.
- 吉川澄夫(1987):ボアホール式体積歪計と周辺媒質の相互作用—媒質の弾性定数の推定—, 気象研究所報告, 38, 3, 187-202.

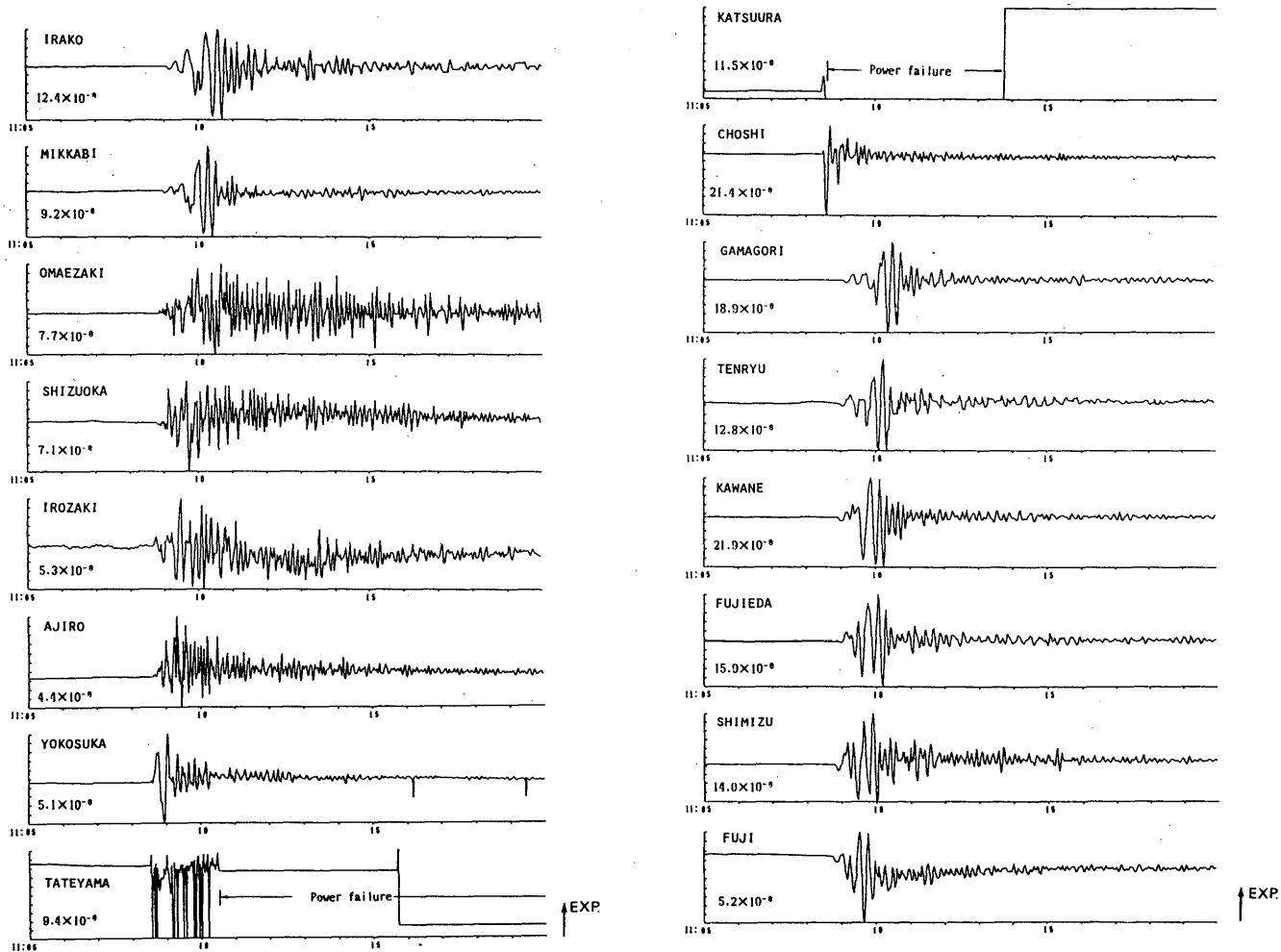


Fig.12-(a) SP-component records which are shown from 11:05 to 11:20.

The number given under each station name shows strain value equal to the length of ordinate.

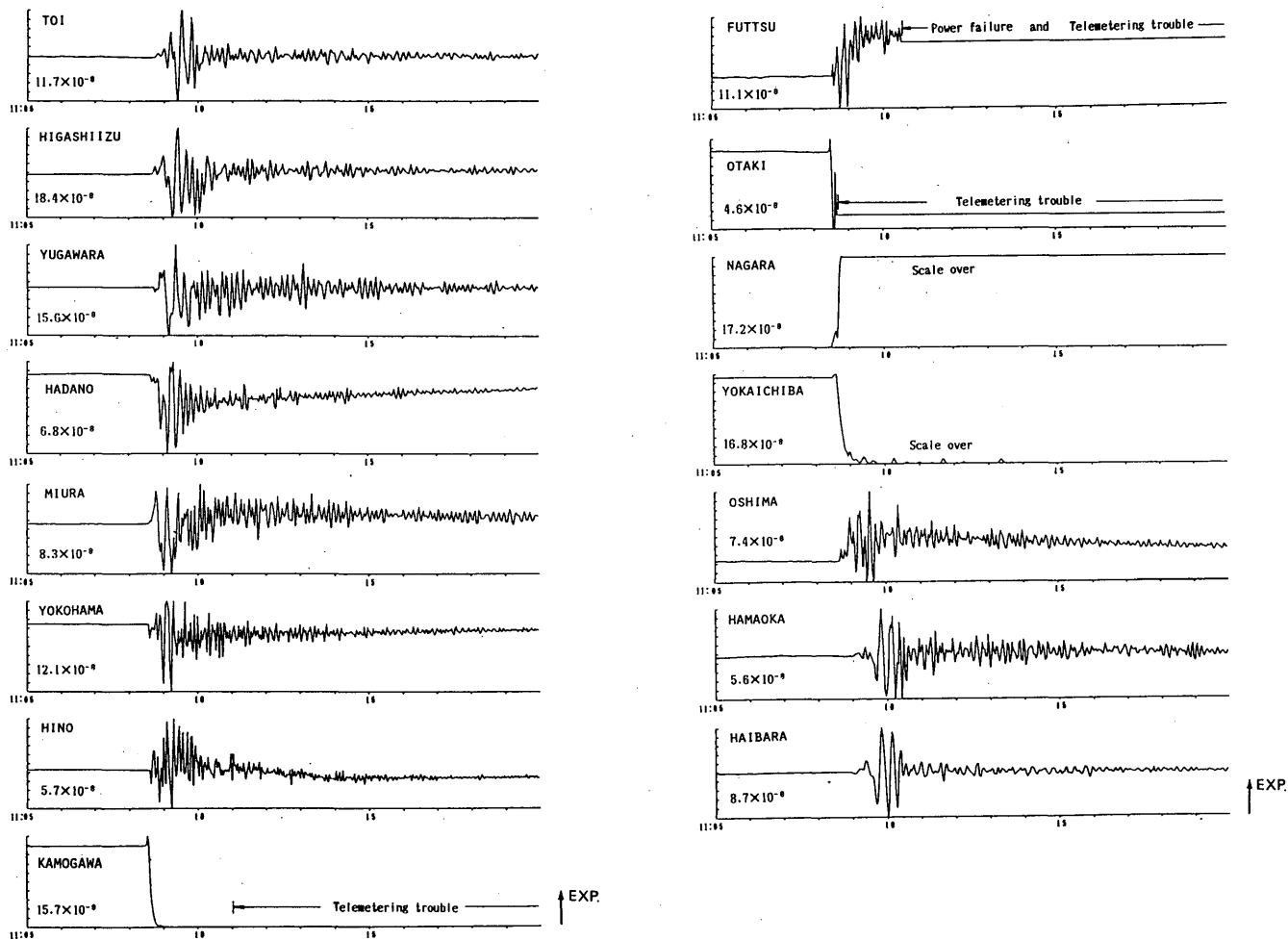


Fig.12-(a) (continue)

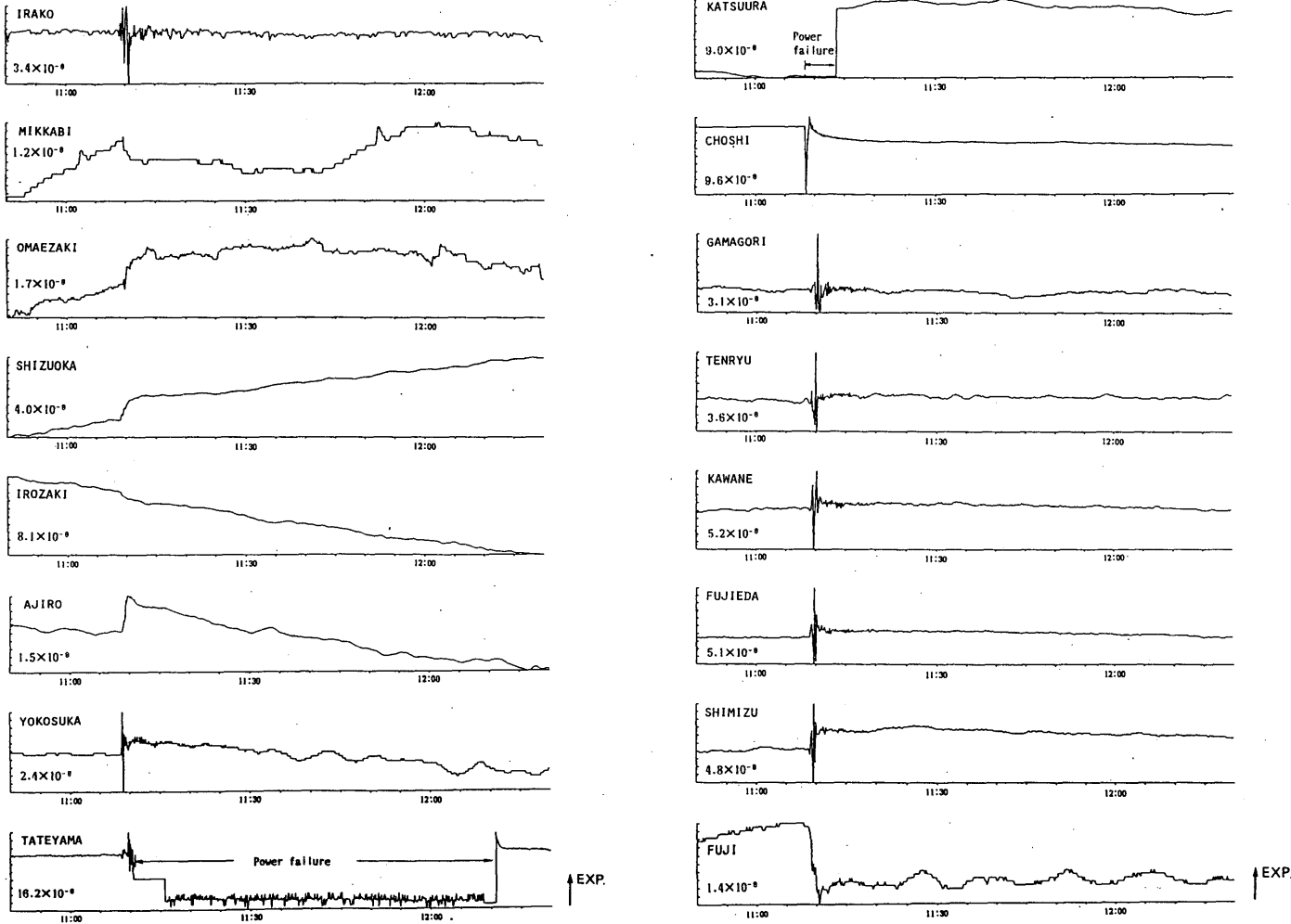


Fig.12-(b) LP-component records which are shown from 10:50 to 12:20.

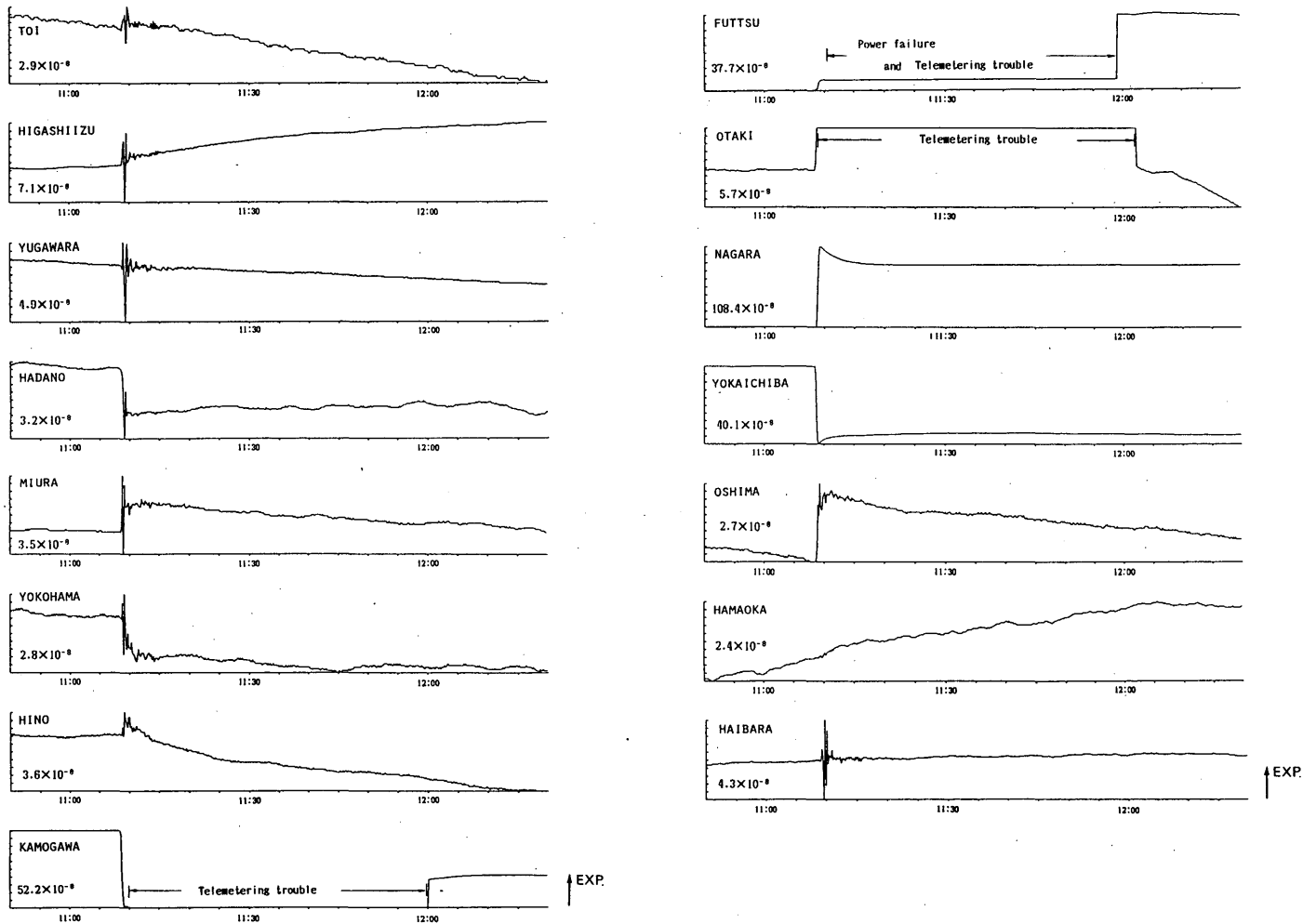


Fig.12-(b) (continue)