

阿寺断層地域における光波測量

—1984年長野県西部地震による水平地殻変動—

東京大学地震研究所 {松本滋夫
平田安廣
東京大学地震研究所 {加藤照之
富士川地殻変動観測所 渡辺茂

(昭和60年5月20日受理)

要 旨

1984年9月14日に発生した長野県西部地震による阿寺断層上の水平地殻変動を解明するため、同地震発生直後に阿寺断層地域の既設基線網において光波測量を実施した。今回の再測では、前回(1983年11月)にくらべて全般に基線長の縮みが認められた。大きいところでは2cmに達する縮みが認められ、これは測量誤差をやや上回る、有意なものと思われる。一方、断層モデルを設定し、各基線網が受けるべき歪変化を計算し、測量の結果と比較したところ、歪量はどちらも 10^{-6} 程度で調和的である。また、両者は方向・大きさともかなり良い対応が認められた。ただし、面積歪に関しては必ずしも良く調和しているとはいえずさらに検討を要するものと思われる。

1. ま え が き

1984年9月14日の長野県西部地震に伴う水平地殻変動を解明するため、震源域の近くで光波測量を実施するとともに、断層モデルから予想される地殻歪・応力を計算し、両者の比較を行った。

上記震源域の西方、約20kmにある阿寺断層について、われわれは断層上の3地区に基線網を敷き、以前から光波測距儀を用いた辺長測量を繰り返してきた(下呂基線網1969年9月から、付知基線網1966年3月から、坂下基線網1975年10月から)(地震研究所, 1985)同断層上の3箇所に設けられた基線網は、今回の震央から20~30kmの距離で、地震時地殻変動があれば検出可能な範囲にあると思われる。前回の測量は10ヶ月前(1983年11月)なので、もし基線長に有意な変化があれば、まず地震によるものと考えられよう。

地震直後に行われた今回の再測では、前回に比べて-2cm(縮み)に達する基線長の変化が認められた。これは測量誤差をやや上回る、有意なものと思われる。一方、余震分布などを参照して震源モデルを設定し、各基線網が受けるべき歪変化を計算し、光波測量の結果と比較したところ、計算方法にもよるが、最大剪断歪については両者は方位・振幅とも比較的良い対応がみられた。反面、面積歪については必ずしも調和的ではなく測量値全般に縮みが重畳して見える。それが計算誤差(周波数変化)でないことは検定で確かめてある。実在のものか、あるいは季節変化の影響がとりきれないためか(作業時期が前回よ

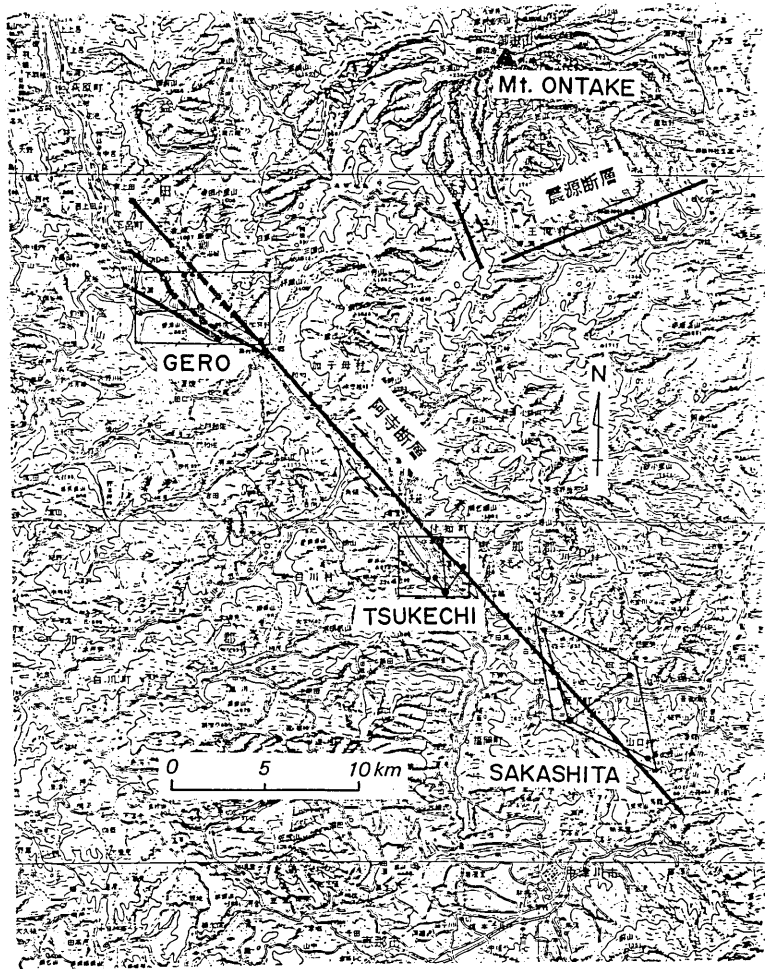


Fig. 1. Estimated fault locations of the Western Nagano Prefecture earthquake (main and largest aftershocks), and the Atera fault. Geodimeter networks (Gero, Tsukechi and Sakashita) are also shown.

り2ヶ月早い), さらに検討を要する。

2. 光波測量

今回の作業は9月下旬, 下呂・付知・坂下の三基線網の改測として行われた。これはいづれも阿寺断層の動きを監視する目的で開設され, 長年光波測量を繰り返してきたものである。第1図・第2図はその配置, 第1表は今までの測量成果をまとめたものである。今回の成果は同表の最下段に記入してある。測量の際には気象観測を基点・反射点の双方で行い, 気象の影響を補正した(第1表。*印は二点での気象補正)。第3図は第1表の内容を図示したものである。測量に使用された光波測距儀は, 十数年使ってきた AGA-700 型

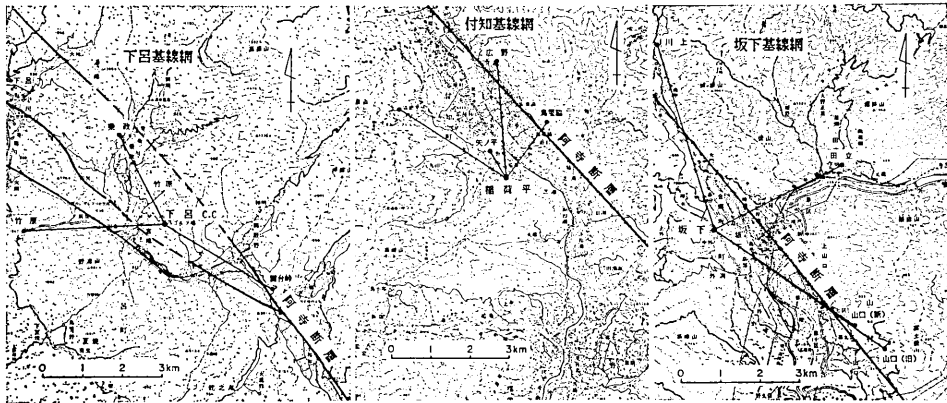


Fig. 2. Baseline networks in the Atera fault area.

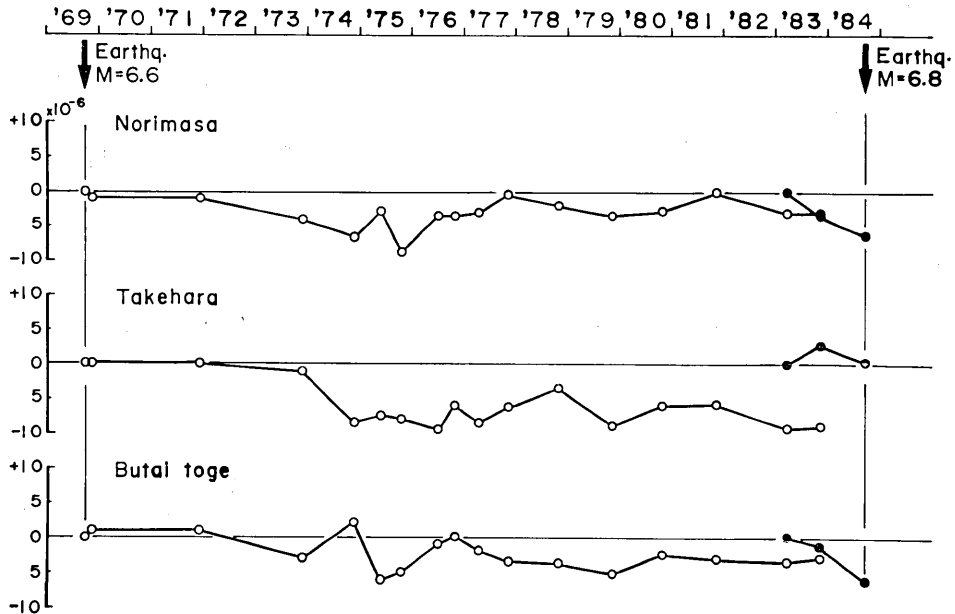


Fig. 3. (a) Cumulative strain change at the Gero baseline network. Solid circles are data obtained by an AGA-700 type geodimeter, while the empty circles are those obtained by a K & E Rangemaster—III type geodimeter.

測距儀の消耗のため、前前回から AGA-700 型測距儀 (第 3 図, ○印) と K & E レンジマスター III 型測距儀 (第 3 図, ●印) との同時比較観測を行いつつ K & E レンジマスター III 型測距儀に切り換えた (松本ほか, 1983)。同図を解析して阿寺断層の運動経過を知るのも興味があるが、本報ではそれに立ち入らず、K & E レンジマスター III 型測距儀で測量した前回 (1983 年 11 月) の測量成果との差、すなわち、長野県西部地震に伴う水平地殻変動を取り扱うことにしたい。

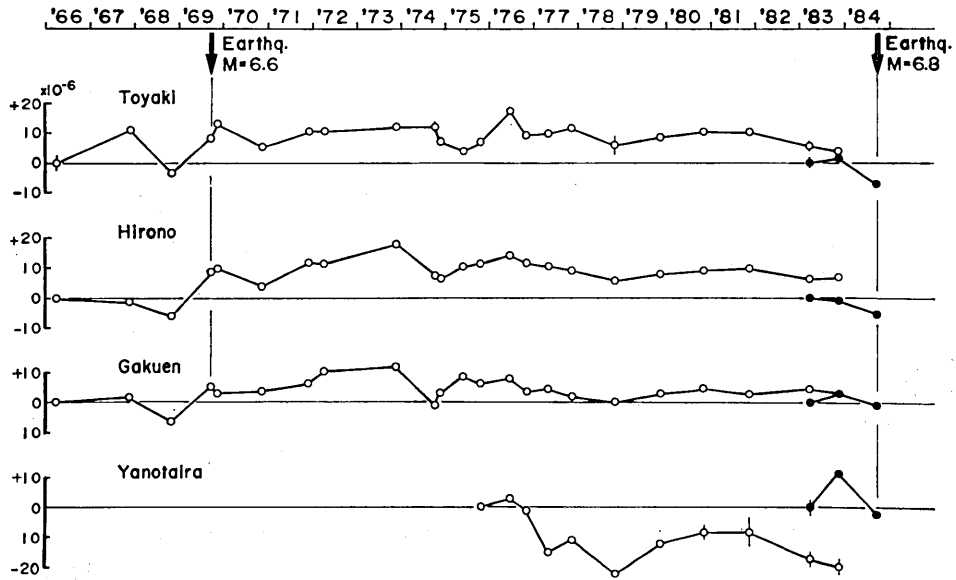


Fig. 3 (b) Cumulative strain change at the Tsukechi baseline network. See Fig. 3 (a) for notations.

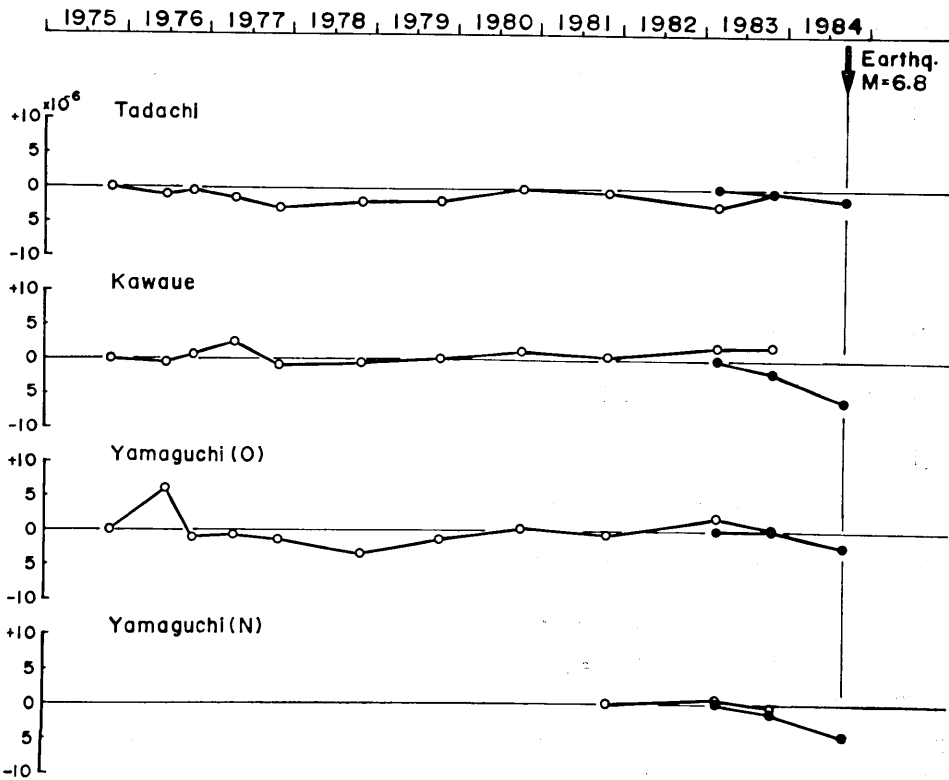


Fig. 3 (c) Cumulative strain change at the Sakashita baseline network. See Fig. 3 (a) for notations.

Table 1. Changes in the baseline length at (a) Gero, (b) Tsukechi and (c) Sakashita baseline networks.

下呂光波基線網測量結果 (AGA 700 型)

DATE	乗政			竹原			舞台峠		
	D	(SD)	D1 D2	D	(SD)	D1 D2	D	(SD)	D1 D2
1969. 9	2520.663	(1)		3635.321	(0)		3201.110	(1)	
1969.10	.660	(1)	- 3 - 3	.321	(1)	0 0	.113	(1)	+ 3 + 3
1971.12	.660	(1)	0 - 3	.321	(2)	0 0	.113	(1)	0 + 3
1973.11	.653	(3)	- 7 -10	.317	(2)	- 4 - 4	.101	(4)	-12 - 9
1974.11	.646	(1)	- 7 -17	.290	(1)	-27 -31	.103	(1)	+ 2 - 7
1975. 5	.656	(1)	+10 - 7	.294	(1)	+ 4 -27	.090	(1)	-13 -20
1975.10	.641	(2)	-15 -22	.292	(0)	- 2 -29	.094	(2)	+ 4 -16
1976. 6	.654	(0)	+13 - 9	.286	(1)	- 6 -35	.107	(2)	+13 - 3
1976.10	.654	(1)	0 - 9	.229	(1)	+13 -22	.110	(1)	+ 3 0
1977. 4	.655	(1)	+ 1 - 8	.290	(1)	- 9 -31	.104	(1)	- 6 - 6
1977.11	.662	(2)	+ 7 - 1	.298	(1)	+ 8 -23	.099	(1)	- 5 -11
1978.10	.658	(1)	- 4 - 5	.308	(2)	+10 -13	.098	(1)	- 1 -12
1979.11	.654	(3)	- 4 - 9	.289	(3)	-19 -32	.093	(4)	- 5 -17
1980.10	.656	(3)	+ 2 - 7	.299	(2)	+10 -22	.102	(3)	+ 9 - 8
1981.11	.663	(6)	+ 7 0	.300	(5)	+ 1 -21	.100	(6)	- 2 -10
1983. 3	.655	(3)	- 8 - 8	.287	(3)	-13 -34	.099	(1)	- 1 -11
1983.11	.655	(4)	0 - 8	.288	(2)	+ 1 -33	.101	(4)	+ 2 - 9

下呂光波基線網測量結果 (K & E レンジマスター-III 型) * : 二点での気象補正

DATE	乗政			竹原			舞台峠		
	D	(SD)	D1 D2	D	(SD)	D1 D2	D	(SD)	D1 D2
1983. 3	2520.661	(6)		3635.276	(3)		3201.091	(4)	
1983.11	.652	(1)	- 9 - 9	.286	(1)	+10 +10	.087	(1)	- 4 - 4
*1983.11	* .650	(1)		* .271	(1)		* .088	(1)	
1984. 9	.637	(1)	-15 -24	.274	(1)	-12 - 2	.071	(2)	-16 -20
*1984. 9	* .636	(1)	-14 -23	* .262	(1)	- 9 + 1	* .072	(1)	-16 -20

Table 1. (b)

付知光波基線網測量結果 (AGA 700 型)

DATE	鳥屋勝 D (SD) D1 D2	広野 D (SD) D1 D2	学園 D (SD) D1 D2	矢ノ平 D (SD) D1 D2
1966. 3	1727.010 (4)	2981.618 (2)	3226.029 (2)	
1967.11	.029 (1) +19 +19	.614 (1) - 4 - 4	.033 (2) + 4 + 4	
1968.10	.004 (1) -25 - 6	.599 (1) -15 -19	.008 (1) -25 -21	
1969. 9	.024 (1) +20 +14	.643 (1) +44 +25	.045 (1) +37 +16	
1969.10	.032 (1) + 8 +22	.646 (1) + 3 +28	.039 (1) - 6 +10	
1970.10	.019 (1) -13 + 9	.629 (1) -17 +11	.041 (2) + 2 +12	
1971.12	.028 (2) + 9 +18	.652 (1) +23 +34	.049 (3) + 8 +20	
1972. 3	.028 (1) 0 +18	.651 (1) - 1 +33	.061 (1) +12 +32	
1973.11	.031 (1) + 3 +21	.671 (2) +20 +53	.067 (2) + 6 +38	
1974.10	.031 (3) 0 +21	.639 (2) -32 +21	.025 (1) -42 - 4	
1974.11	.022 (0) - 9 +12	.637 (2) - 2 +19	.039 (1) +14 +10	
1975. 5	.017 (0) - 5 + 7	.648 (1) +11 +30	.056 (1) +17 +27	
1975.10	.022 (2) + 5 +12	.651 (1) + 3 +33	.049 (0) - 7 +20	798.992 (1)
1976. 6	.040 (1) +18 +30	.660 (1) + 9 +42	.054 (1) + 5 +25	.990 (0) - 2 - 2
1976.10	.026 (1) -14 +16	.652 (1) - 8 +34	.040 (1) -14 +11	.991 (1) + 1 - 1
1977. 4	.027 (1) + 1 +17	.649 (1) - 3 +31	.043 (1) + 3 +14	.979 (1) -12 -13
1977.11	.030 (1) + 3 +20	.644 (2) - 5 +26	.035 (1) - 8 + 6	.983 (1) + 4 - 9
1978.10	.020 (5) -10 +10	.635 (1) - 9 +17	.028 (4) - 7 - 1	.974 (1) - 9 -18
1979.11	.025 (2) + 5 +15	.642 (4) + 7 +24	.038 (1) +10 + 9	.982 (2) + 8 -10
1980.10	.028 (2) + 3 +18	.645 (4) + 3 +27	.044 (1) + 6 +15	.985 (1) + 3 - 7
1981.11	.028 (2) 0 +18	.647 (2) + 2 +29	.038 (4) - 6 + 9	.985 (4) 0 - 7
1983. 3	.020 (3) - 8 +10	.637 (3) -10 +19	.043 (2) + 5 +14	.978 (2) - 7 -14
1983.11	.017 (2) - 3 + 7	.639 (2) + 2 +21	.039 (2) - 4 +10	.976 (2) - 2 -16

付知基線網測量結果 (K & E レンジマスター-III 型) * : 二点での気象補正 (観測点 and 反射点)

DATE	鳥屋勝 D (SD) D1 D2	広野 D (SD) D1 D2	学園 D (SD) D1 D2	矢ノ平 D (SD) D1 D2
1983. 3	1727.010 (1)	2981.639 (1)	3226.024 (2)	798.973 (2)
1983.11	.013 (3) + 3 + 3	.637 (1) - 2 - 2	.034 (2) +10 +10	.982 (1) + 9 + 9
1983.11	.013 (3)	*.636 (1)	*.041 (2)	
1984. 9	1726.996 (6) -17 -14	.620 (1) -17 -19	.022 (4) -12 - 2	.971 (1) -11 - 2
1984. 9	.997 (6) -16 -13*	*.621 (1) -15 -17*	*.028 (4) -13 - 3	

Table 1. (c)

坂下光波基線網測量結果 (AGA 700 型)

DATE	田 D (SD)	立 D1 D2	川 D (SD)	上 D1 D2	山口 (旧) D (SD) D1 D2	山口 (新) D (SD) D1 D2
1975.10	3724.537 (1)		4801.075 (2)		5277.372 (2)	
1976. 6	.534 (1) - 3 - 3		.072 (2) - 3 - 3		.404 (3) +32 +32	
1976.10	.535 (1) + 1 - 2		.078 (1) + 6 + 3		.021 (2) -39 - 7	
1977. 4	.531 (2) - 4 - 6		.087 (2) + 9 +12		.368 (2) + 3 - 4	
1977.11	.526 (0) - 5 -11		.071 (1) -16 - 4		.364 (1) - 4 - 8	
1978.11	.529 (1) + 3 - 8		.072 (4) + 1 - 3		.354 (3) -10 -18	
1979.11	.530 (1) + 1 - 7		.076 (2) + 4 + 1		.365 (3) +11 - 7	
1980.10	.537 (4) + 7 0		.081 (1) + 5 + 6		.374 (2) + 9 + 2	
1981.11	.535 (3) - 2 - 2		.078 (2) - 3 + 3		.369 (4) - 5 - 3	4369.576 (2)
1983. 3	.528 (3) - 7 - 9		.084 (2) + 6 + 9		.383 (3) +14 +11	.579 (4) + 3 + 3
1983.11	.535 (1) + 7 - 2		.085 (4) + 1 +10		.374 (3) - 9 + 2	.573 (4) - 6 - 3

坂下光波基線網測量結果 (K & E レンジマスター-III) * : 二点での気象補正 (観測点 and 反射点)

DATE	田 D (SD)	立 D1 D2	川 D (SD)	上 D1 D2	山口 (旧) D (SD) D1 D2	山口 (新) D (SD) D1 D2
1983. 3	3724.525 (5)		4801.077 (5)		5277.355 (4)	4369.571 (4)
1983.11	.523 (2) - 2 - 2		.068 (2) - 9 - 9		.355 (2) 0 0	.565 (2) - 6 - 6
1983.11	.512 (1)		*.063 (2)			*.562 (2)
1984. 9	.517 (1) - 6 - 8		.045 (1) -23 -32		.343 (3) -12 -12	.552 (2) -13 -19
1984. 9	.508 (1) - 4 - 6*		*.043 (1) -20 -29*		.347 (3)	*.548 (2) -14 -20

第1表に示す基線長の変化は、田立の-4 mm から、川上の-20 mm まで、大小さまざまであるが、全般に縮みの傾向にある。経験上、測量に伴う測定誤差は数 mm と見込まれる。従って、何本かの基線では微小ながら有意の変化があったものと思われる。それを地震性のもとする強い根拠があるわけではないけれども、測量間隔が比較的短いことから、一応ここでは9月の地震に伴った変化と見なしておこう。こうして計算した歪主軸は第4図に示す通りである。10⁻⁶ のオーダーの縮みで、軸がNW-SE, NE-SW を向いていることが判る。

3. 断層モデルから期待される歪

断層モデルの決定は大地震調査の基本作業の一つである。断層の幾何学的形状や断層ずれの形式は発震機構や余震分布、あるいは地表調査 (今回の地震については、今のところ有意な地変は知られていないが) の多方面から調査されている。それらの資料を参照して、断層パラメータを下記のように設定してみよう (山科, 私信による)。

	本震の断層モデル	最大余震の断層モデル
断層長:	12 km	4 km
幅:	8 km	8 km
表層厚さ:	2 km	2 km
ずれ:	1.6 m	0.3 m

第5図は、こうしてわれわれの基線長にどのような歪が現われるかを計算し、測量の結果と比較したものである。いうまでもなく、地殻は半無限弾性体と仮定してある。両者を比べて判る点を要約すると

- (a) 歪量はどちらも 10^{-6} とほぼ同じオーダーである。
- (b) 理論値には伸び・縮みの双方が見られるが、測量値は縮みだけである。
- (c) 主軸の向きにはかなり良い対応が認められ、数値が示すように最大剪断歪だけ注目すれば両者は良く一致している。

以上、測量値の方に全般に縮みが卓越している点を除けば両者の一致はかなり良いと見られる。なお、上記の計算は各基線網の中心地点について行ったものであり、別の考えとして、各標石位置の変位を求めてから基線長の変化を算出した結果では、付知・坂下基線網において良い対応が見られたが、下呂基線網についてはこれほどの一致は得られなかった。また、全般的縮みが測量値に卓越していることについて、計器の周波数や器差などによるものでないことは検定で確かめてある。実在の変動がそうであったのかも知れないが、或いは実施時期が2ヶ月ほどずれていることから、季節変化（気象補正にはかなり注意しているけれども）の故かとも疑われる。この点についてはさらに検討を要する。

なお、上述した断層モデルはあくまでも暫定的なものであり、三辺測量の結果を用いた、より詳細なモデルが山科・多田 (1985) によって提案されている。後者を用いた歪解析を現在検討中であるから、上記の結果は今後多少修正される可能性があることを付記しておく。

4. ま と め

今回の長野県西部地震による水平地殻変動を調査する目的で既設の阿寺断層地域基線網の光波測量（改測）を行った。有意と思われる基線長変化を地震性地殻変動とみなすと、その量は 10^{-6} のオーダーで、震源の断層モデルからも理解できる。歪の主軸や最大剪断歪の成分はその向きや大きさとも比較的よい調和（計算方法にもよるが）が見られた（面積歪に関しては調和しない）。

5. 謝 辞

本報告をまとめるにあたって、終始変わらない御激励と御指導を賜った東京大学地震研究所笠原慶一教授に深い感謝の意を表したい。又、歪や断層モデルの計算に当っては、地震研究所の山科健一郎博士のご協力を頂いた。これらの方々に厚く御礼申し上げる。

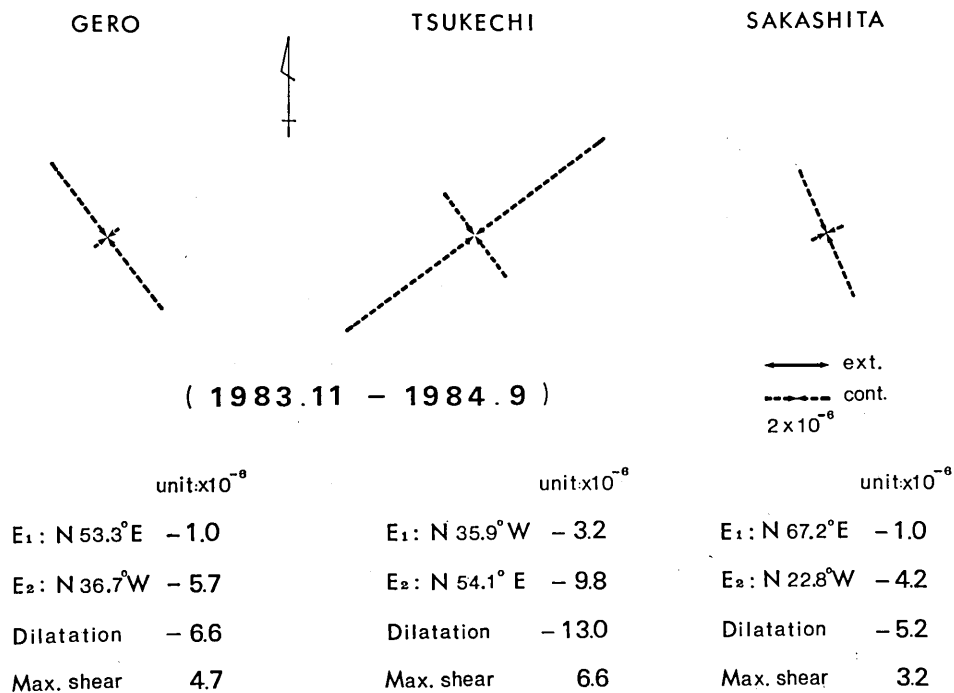


Fig. 4. Principal axes, dilatations and maximum shear strain changes at each baseline network for the period from November, 1983 to September, 1984.

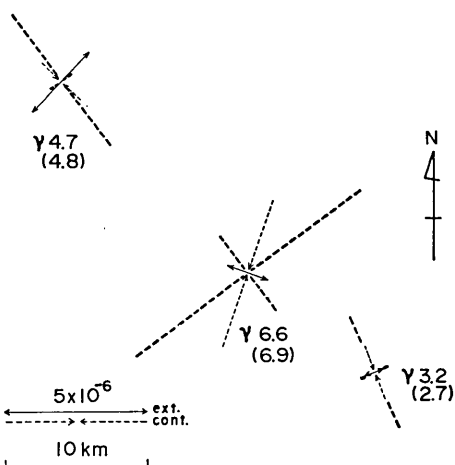


Fig. 5. Principal strains at the Gero, Tsukechi and Sakashita baseline networks. Bold and thin lines are observed and theoretical principal axes of strain, respectively. Numerals () are observed maximum shear (theoretical values in parentheses).

文 献

- 松本滋夫・平田安廣・加藤照之・渡辺 茂, 1983, 光波測距儀の同時比較観測 (AGA 8 型, AGA 700 型, 及び K & E レンジマスター III 型), 震研彙報, **58**, 465-475.
- 東京大学地震研究所地殻変動移動班, 1985, 阿寺断層における光波測量 (4), 地震予知連絡会会報, **33**, 156-160.
- 山科健一郎・多田 堯, 1985, 1984 年長野県西部地震の断層モデル (三角点測量データの解析), 震研彙報, **60**, 221-230.

Geodimeter Surveys in the Atera Fault Area

—Strain Changes due to the 1984 Western Nagano Prefecture Earthquake—

Shigeo MATSUMOTO, Yasuhiro HIRATA,
Teruyuki KATO and Shigeru WATANABE

Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Geodimeter surveys at the Atera fault were conducted soon after the 1984 Western Nagano Prefecture earthquake in order to examine the coseismic horizontal strain changes due to the earthquake. The result showed general contractions at all the networks in the area (Gero, Tsukechi and Sakashita). Although seasonal variations might have tainted the results, some of the observed large contractions seem significant and, actually, compatible with the strain changes calculated by a hypothetical fault model.
