

20. 松代附近の地盤の垂直変動

地震研究所 岡田 惇

(昭和44年12月23日発表—昭和45年1月30日受理)

1. まえがき

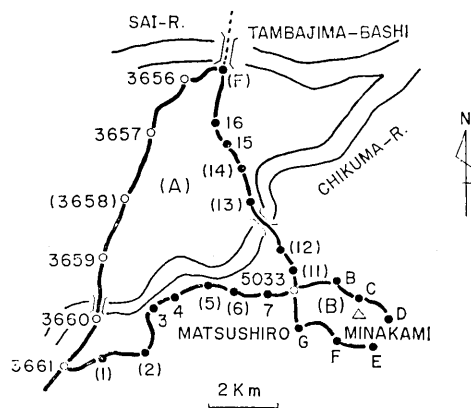
昭和40年8月に始まつた松代群発地震は、同年11月、翌昭和41年4月および同年9～10月の時期をピークとして、次第に減少する経過をたどっている。なお4年を経過した現在の頻度は最盛期に比較してほぼ2桁は落ちているけれど減衰は極めてゆるやかで横這とも思われる¹⁾。

地震研究所では水準測量の繰返しによつて地震集中発生域、すなわち松代町、皆神山および隣接する長野平野の一部についての水準点変動から、地盤昇降の調査を続けてきた^{2), 3), 4)}。この結果から地盤の垂直変動の推移について考察を行なつた。すなわち昭和41年9月末が隆起の停止時期で、以来沈降速度を減しながら現在に至る状態について述べる。

2. 垂直変動の余効的経過

松代町および皆神山周辺における繰返し測量の行われた路線および水準点は第1図に示す。4年間に16回の測量が繰返され、完全に変動の比較ができたもののみを示した。昭和40年10月に国土地理院一等水準点 No. 3661 (更埴市) より分岐し、松代町を経て丹波島橋南岸同 No. 3656 に至る地震研究所新設 A ルートが測量開始され、皆神山を一周する B ルートは昭和41年4月に増設された。したがつてこの間における B ルートの垂直変動は BM. No. 11 の隆起量約 3 cm を仮定して全水準点に加算することにした。また一方不動点と仮定した BM. No. 3661 の変動は国土地理院による広域測量から見て数 cm 以内であろうと考えられた。したがつて以上のことから、変動量の誤差は一応皆神山周辺部の隆起量に対して数パーセント以内と推定される。

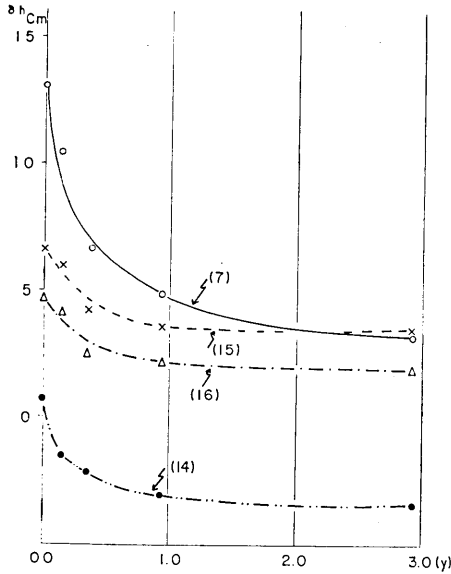
第2, 3図はそれぞれ A, B 両ルート個々の水準点の変動量を昭和41年9月22日の測量結果に対して約3年間の時間的变化として示したものである。前述のように数パーセント



第1図 松代町および周辺の水準線路図

第2, 3図はそれぞれ A, B 両ルート個々の水準点の変動量を昭和41年9月22日の測量結果に対して約3年間の時間的变化として示したものである。前述のように数パーセント

- 1) 気象庁地震課「地震火山概況」, 1965-1969.
- 2) 坪川家恒・岡田惇・田島広一・村田一郎・長沢工・井筒屋貞勝・伊藤裕「松代群発地震にともなう水準測量 第1報」地震研究所彙報 **45** (1967), 265.
- 3) 坪川家恒・岡田惇・井筒屋貞勝・伊藤裕・角野行栄「同上 第2報」地震研究所彙報 **46** (1968), 417.
- 4) 測地移動観測班「同上 第3報」地震研究所彙報 **48** (1970), 311.



第2図 Aルートにおける昭和41年9月以降個々の水準点垂直変動と近似曲線
 例えば BM.(7) は
 $\delta h^{cm} = 7.89e^{-1.35t} + 2.94$
 を示す

の誤差は考えられるけれど定性的に沈降の減少には余り影響はなさそうである。

第2,3図から個々の水準点の沈降速度は漸次減少して、3年間の傾向はいずれも指数関数的である。いま変動量の減少を

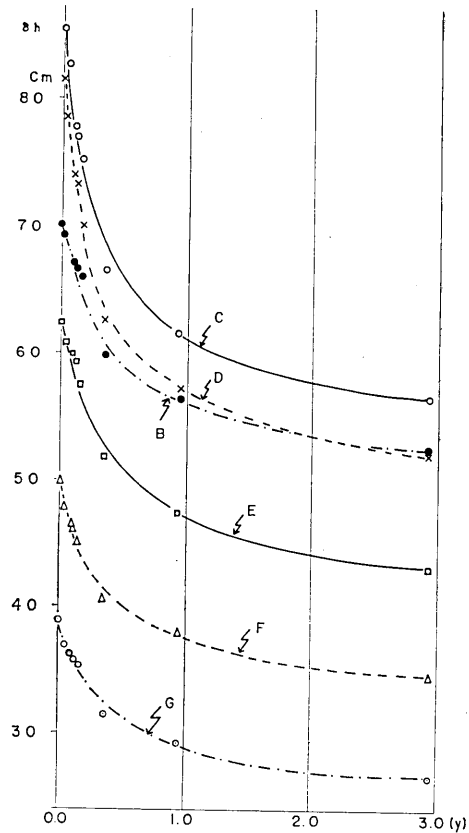
$$\delta h = ae^{-bt} + c$$

と近似してそれぞれ箇々の水準点について a, b, c を最小自乗法で求めると第1,2表に示すようになる。ただし t は年単位とする。

個々の水準点の垂直変動の減衰状況から見て変形を引き起した地盤ないしは地殻が弾性的な性質を持つものとする。と群発地震の最も活動した時期の最大隆起量 δh_{max} に対して、前式の右辺第2項 c はそれぞれ個々の水準点周辺における残留変形に相当するものと考えられる。

第1表 Aルートの係数

BM. No.	a	b	c	$c/\delta h_{max}$
4	3.56 ^{cm}	-1.73	-3.45 ^{cm}	17%
7	7.89	-1.35	2.94	23
15	1.22	-1.41	3.41	52
16	1.50	-1.02	1.88	41
		(平均-1.38)		(平均33%)



第3図 Bルートの昭和41年9月以降個々の水準点垂直変動と近似曲線、例えば BM.C $\delta h^{cm} = 23.60e^{-1.16t} + 55.6$ を示す

現在なお続く微小地震活動から予測することは不可能であろうが4年を経過し、地盤変動量の推移が一定値にそれぞれの地域において近づきつつある。すなわち今後極めて緩慢な沈降を続けつつ、地震活動もこれに対応しながらさらに減衰するのではなからう

か、

第2表 B ルートの係数

また前式右辺第一項の係数 a はそれぞれ個々の水準点周辺における異常隆起に対する余効的な変動量を示すものであろう。一方年単位とする減衰係数 b について見ると A ルートすなわち平野部において、B ルートのそれよりやや大きくなっている。個々の水準点について最大変動量に対する残留変動量の割合すなわち

BM. No.	a	b	c	$c/h\delta_{\max}$
B	16.22 ^{cm}	-1.10	51.7 ^{cm}	74%
C	23.60	-1.16	55.6	65
D	23.89	-1.35	51.7	63
E	17.99	-1.13	42.3	68
F	13.06	-1.04	33.6	67
G	11.01	-1.02	25.7	66
		(平均-1.13)		(平均67%)

$$\frac{c}{\delta h_{\max}}$$

を求めると、A ルートでは平均 33%、B ルートでは 67% となる。A ルートの方は前にも述べたように比較的小さい変動量の中には、基準として不動点に選ばれた BM. No. 3661 附近、言い換えれば長野平野全般についての僅かながら垂直変動が混入しやや不正確さがあるかと思われる。しかしながら垂直変動の進行過程で、異常隆起地域、すなわち群発地震集中域である B ルートと、隆起の裾を引く周辺部 A ルートでは、垂直変位そのものに異なる要素があるように思われる。これを説明する情報は現在得られていないけれど、一つの解釈として、隆起にともなう変形が特に表層近くに与えた影響の差によるものかも知れない。長時間に及ぶ垂直変動による弾性変形、非弾性変形の割合に群発地震の中心域とその周辺部において差があつたのであろうかと推察される。

3. 周辺部 (A ルート) 地域の傾斜変動

A ルートは松代町北西部に広がる平野部をデルタ状に一周する路線で、群発地震集中域に接近し、しばしば中位の地震が散発した地域である。A ルート個々の水準点の変動 (BM. No. 3661 を不動と仮定) を昭和 45 年 10 月を基準とし、皆神山周辺異常隆起地域に引きつけられた傾斜変動 (地塊運動) と仮定して傾斜量を算定し、時間的な変化を示したのが第 4 図である。第 5 図は傾斜方向と傾斜量をベクトルで示した。昭和 46 年 9 月の活動期を頂点として逆転し次第に緩やかになっていることは垂直変動と同じである。最大傾斜の方位はほぼ N 100°E を示している。傾斜逆転後の減衰を 3 年間について、傾斜角を前節同様に弾性変形と仮定してそれぞれ係数を求めると

$$\varphi'' = Ae^{-Bt} + C, \quad (t: \text{年単位})$$

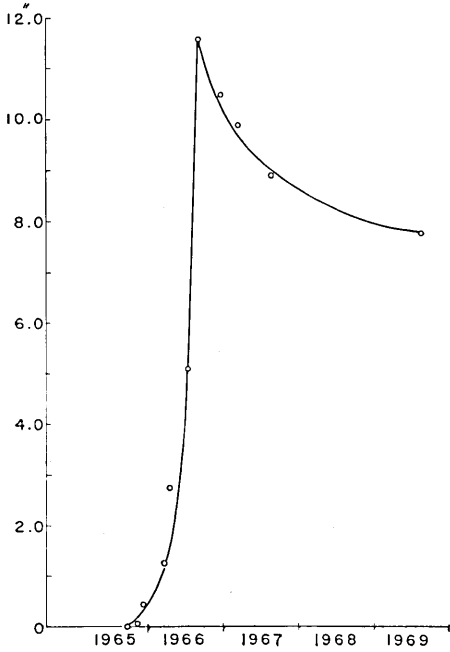
と置いて

$$A=3.57$$

$$B=0.739$$

$$C=7.34$$

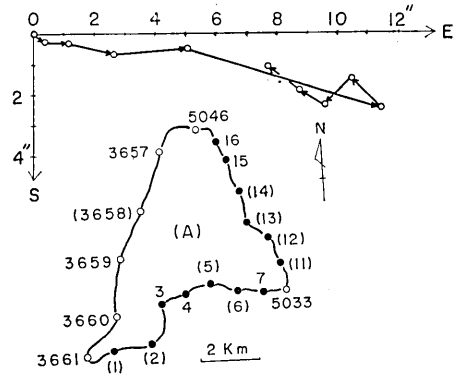
が得られる。前節と同様に A は余効的な傾動であり、 C は残留的傾動と考えられる。また



第4図 Aルート地域の傾斜変動量

$$c/\varphi_{max} = 63\%$$

となり、これは水準点個々の上下変動から得られたAルートの割合より大きくなる。周辺部における余効的変動の割合は垂直変動と傾斜変動の中間あるいは傾斜変動の方に近いのでなかろうかと推定される。



第5図 Aルート地域の傾斜変動と最大傾斜方向のベクトル図

一般に大地震にともなつた震央域における地殻の垂直変動あるいは傾斜変動の時間的推移については、急激な地殻変形が完全に固定的なものでなく、長期間に亘つて余効的な挙動を示すことを経験している。例えば南海道地震⁵⁾による室戸岬の傾斜変動あるいは新潟地震における粟島⁹⁾の隆起変動がそれである。しかし群発地震の場合は全く事情が異つていながらもかかわらず、地震活動と垂直変動のピークに達して以後における地殻垂直変動の様相はやや類似点を示し余効的な変動をともなつていることは興味深い。

4. あとがき

松代町を中心とする群発地震の集中した地域について過去4年間に繰返された水準測量結果より特に地震活動最盛期以後における、個々の水準点変動の時間的な経過について述べた。地震活動と地殻垂直変動の推移に関し、良く調和を保ちながら進行している状況を知ることができた。なおAルートの傾動については当初の報告⁷⁾の一部を修正した。

光波測量による松代地域の地殻水平変動もほぼ垂直変動と同じような経過^{9), 9), 10), 11)}をた

- 5) A. OKADA, T. NAGATA, "Land Deformation of the Neighbourhood of Muroto Point after the Nankaido Great Earthquake in 1946," *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 31 (1953), 169.
- 6) 岡田惇・笠原慶一「粟島の余効的変動」地震研究彙報 44 (1966), 247.
- 7) 前掲 2).
- 8) K. KASAHARA, A. OKADA, "Electro-Optical Measurement of Horizontal Strains Accumulating in the Swarm Earthquake area (1)," *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 44 (1966), 335.
- 9) K. KASAHARA, A. OKADA, M. SHIBANO, K. SASAKI and S. MATSUMOTO, "Electro-Optical Measurement of Horizontal Strains Accumulating in the Swarm Earthquake Area (2)," *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 45 (1967), 1715.

どつていることから、垂直変動に限つていうならば沈降速度は極めて緩慢となりつつ余効的な変動も微小となり、限界値に近づきつつあるように思われる。

- 10) K. KASAHARA, A. OKADA, M. SHIBANO, K. SASAKI and S. MATSUMOTO, "Electro-Optical Measurement of Horizontal Strains Accumulating in the Swarm Earthquake Area (3)," *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 46 (1968), 225.
- 11) K. KASAHARA, A. OKADA, M. SHIBANO, K. SASAKI, S. MATSUMOTO and M. HIRAI, "Electro-Optical Measurement of Horizontal Strains Accumulating in the Swarm Earthquake Area (4)," *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 46 (1968), 651.

20. *The Vertical Crustal Movement in the Area of Matsushiro Earthquake.*

By Atusi OKADA,
Earthquake Research Institute.

The present paper is a preliminary report on the studies dealing with the nature of the vertical crustal movement by means of repeated precise levelling in the vicinity of swarmquake area.

(1) During the last active period of the swarmquakes, on Aug.—Sept. 1966, the area with that at the epicentral zone rapidly uplifted, the maximum vertical displacement of bench marks observed being about 90 cm in height.

(2) Since September 1966, it was found that the upheaved land was subjected to gradual subsidence corresponding with the decrease of swarmquake activities.

(3) The vertical displacement of each bench mark along the routes A and B (Figs. 2 and 3) seemed to indicate the general postseismic movement of recovery aspect.

(4) If we take an assumption as an elastic deformation in the surface crust, the vertical displacement (δh cm) of each bench mark t years after the main swarmquakes, in Sept. 1966, is given as follows:

$$\delta h = ae^{bt} + c.$$

The mean values of coefficient b are determined by the least square method (Tables 1 and 2).

A route: $b = -1.38$

B route: $b = -1.13$.