4-1 松代地域の群発地震活動に伴った垂直変動

東大・震研・(測地移動観測班)

岡田 惇

坪 川 家 恒

1. まえがき

昭和40年(1965年)8月以来続いている松代地震は、昭和41年3~4月および8~9月 における2回の最大活動期を経て、すでに4年余りを経過した。この間多くの研究調査の一環とし て地震研究所は水準測量の繰返しによって、群発地震の集中した松代町周辺特に皆神山附近と長野 平野の一部について、地盤の昇降変動の調査を続けた。国土地理院は水準路線を増設し、測量地域 の範囲を北信一帯より直江津、柏崎験潮場に至る、広域調査を行った。以上の結果はすでに報告さ れ、群発地震の集中発生地域とその周辺および広域地帯についての地殻変動が、明らかにされた。

松代町皆神山周辺より続く長野平野の一部については、測量回数も多く1967年8月までの2 年間に、地震活動の発展と地盤の局地的な異常隆起地域の経過が極めて良く対応していたこともす でに報告した。さらに2年経過した1969年8月に、同じ群発地震の集中した変動地域について 繰返し測量を行った。その結果は1966年9月末頃を頂点とし異常隆起が停止し、数ケ月後まで はやや急激に沈降し始めたが、引き続いて緩慢な沈降速度で進んでいる。一方地震の回数も急激に 減少したとはいえ、尚現在(1969年末)でも月平均600~1000回近い頻度を示し、微小 地震活動としては異常地域であろう。

2. 皆神山および松代周辺の水準点変動

繰返し水準測量の行われた水準路線は、第1図に示す地域でAルートの一部は国道18号線に沿う国土地理院一等水準路線で、更埴市 B. M. No. 3661より松代町を経て丹波島橋に至る。

No.1~No.17路線は、1965年10月に臨時設置した地震研究所の水準点を示す。Bル ートは1966年4月第1期地震活動期を迎えて、皆神山を一周する水準路線として増設された。 この時期に国土地理院は北信地域に二等水準路線が増設され、測量が開始された。A、B両ルート に沿う反復測量は十数回におよび、1966年9月末における異常隆起の状況と中心域は、第2図 の等隆起線によって示されるように皆神山北東地域であろう。等隆起線は皆神山南東方向(赤柴) に延びる支線と、保科路線(奇妙山東北側)の変動も併せ画かれたもので、局地的な異常隆起であ る。第3図は、更埴市 B. M. No. 3661を不動とした時の、過去4年間における箇々の水準点 の垂直変動図で、1965年10月第1回測量に対する時間的変化を示す。この期間に数箇の水準 点が亡失し、比較ができなくなった。

A ルートの水準点(Nos.4、7、15、16)は、松代町を通り標高差のほとんどない平野部にあり、松代町附近で最高隆起量は約30 cmである。B ルートの水準路線の標高差はおよそ100m あり、皆神山北東山麓 NosB、C、D 附近で隆起量は90 cmに達する。第1回測量を基準として、個

々の水準点の時間的変化の様子についてみると、A、B 両ルートともほぼ同じような経過をたどっている。第2期活動期を頂点として漸次沈降速度を減じ、3 年間でゆるやかな曲線を示しているけれど、A、B 両ルートには若干の差がみられる。一方光波による基線測量の結果によれば、同様に同じ時期に停止し、変化が逆転している。





第3図 個々の水準点の変動図 下方は J.M.A. による月総数の地震頻度

3 地殻垂直変動の余効的経過

第2期活動期を頂点とする群発地震回数は減退し始め、水準点の垂直変動も同じく緩慢な沈降を 示すようになった。第3図に示したA、B両ルート個々の水準点について、1966年9月末の測 量を基準に年単位で変化を示したのが、それぞれ第4図、第5図である。いづれも個々の水準点は、 3年間に指数関数的な減少を示している。いまこの変動量の減少を

 δ h = ae^{-bt} + c

と近似して、それぞれ個々の水準点について a、b、cを最小2乗法で求めたのが第1表である。

第4図 1966年9月末を基準 とする B ルート個々の水準点変動図

- 第5図 1966年9月末を基準
 - とする A ルート個々の水準点変動図



 $(A \mathcal{W} - \mathcal{V})$

	a	b	с	c,∕ðma x
D	Cm 1622	110	Cm 5 1 7	7 4 9/
в	1 0.2 2	- 1.1 0	5 1.7	/ 4 %
С	2 3.6 0	- 1.1 6	5 5.6	65%
D	2 3.8 9	- 1.3 5	5 1.7	63%
Е	1 7.9 9	- 1.1 3	42.3	68%
F	1 3.0 6	- 1.0 4	3 3.6	67%
G	1 1.0 1	- 1.0 2	2 5.9	66%
平均		-1.133		67%

(В	ルー	1)
· ·	~	/ •		

	a	b	c	¢∕ðma x
4	ст 3.5 б	- 1.7 3	-3.45	1 7 %
7	7.89	- 1.3 5	2.94	23%
15	122	- 1.4 1	3.41	52%
16	1.50	- 1.0 2	1.88	41%
平均		- 1.38		33%

個々の水準点の垂直変動は、地盤が半弾性体であると仮定すると、最大隆起量 δ hmax に対して C は、いわば個々の水準点の半永久的な変動量あるいは残留変形に相当するものかも知れない。4 年間を経過した現在の地震活動から予測は到底困難であろうが、それぞれ個々の水準点の変動量は、 一応それぞれC に近づきつつあることはいえそうで、a はそれぞれの余効的な変化と考えられる。 一方減衰係数をルート別にながめると、A ルートすなわち平野部の方がやや大きいのに対して、 B ルートの方が小さい。個々の水準点について最大変動量(δ hmax)と前に述べた残留変動量(C) の割合を求めると、A ルートでは平均33%、B ルートでは67%となっている。これは変動要素 に差異があるように思われるが、現在これを説明する情報は得られていない。一つの解釈として、 群発地震の中心地域とその周辺部の特に表層近くに、隆起変動をともなって与えられた物理的な影 響の差であろう。弾性変形・塑性変形の割合に若干の差があるのではなかろうかと推察され興味が 深い。

4. A ルート地域の傾斜変動

A ルートは、松代町北西部に拡がる平野部をデルタ状に一周する路線で、個々の水準点の変動量 から(B. M. № 3661 を不動と仮定)1965 年 10 月を基準にし、地塊運動として傾斜量を 求め、図示したのが第6図に示されている。第2活動期までの急激な傾斜量に対して、以後は逆方 向に転じ漸次傾動が緩慢になった。第7図はおのおの測量時点における最大傾斜量と方位を、ベク トルで示したものでほぼ一定の方位 N100°E に傾動している。第2活動期以後の漸減している 3年間について、前節で述べた垂直変動と同様に傾斜角を

と置いて A、B、C を求めると

A = 3.50B = -0.739C=7.34

が得られる。A は余効的なもの、C は残留的な傾動量に相当するであろう。また φ max (最大傾斜

量)に対して63%となる。

大地震にともなった垂直変動あるいは傾動の推移は、一般には急激な地殻変形が完全に固定的な ものでなく、長期間にわたって余効的な動きを示すことを、過去のいくつかの大地震によって知ら れている。群発地震の場合は、全く事情を異にして隆起変動にも時間を要しているけれど、余効的 な変動にはやや類似点を示すことは興味深い。



第6図 Aルート地域の傾斜量変動図

第7図 Aルート地域の傾斜変動のベクトル図



5. あとがき

松代附近の群発地震が集中した地域における、過去4年間に繰返された水準測量より個々の水準 点の変動について概要を述べた。地震活動と地殻変動の推移に関して、調和を保ちながら地盤ない しは地殻の垂直変動の経過について知ることができた。垂直変動に限っていうならば、沈降速度は きわめて緩慢となりほぼ限界値に近づきつつあるように思われる。

献

文

- 坪川家恒 他 "松代地震にともなう水準測量"
 第1報、第2報
 (震研彙報 45 (1967) 265 288
 (震研彙報 46 (1968) 417 429)
 笠原慶一 他 "群発地震活動に伴う地殻変動の観測"
 第1報、第2報、第3報、第4報
 震研彙報 44 (1966) 335 350
 震研彙報 44 (1966) 1715 1733
 震研彙報 45 (1967) 225 239
 震研彙報 46 (1968) 651 661
 国土地理院 松代群発地震に伴う測地測量報告書 第1報~第5報
 昭和 41 年 11 月
 昭和 42 年 2 月
 昭和 42 年 2 月
 昭和 42 年 6 月

 - 昭和 43 年 2 月
 - 昭和44年3月
- 岡田 惇・笠原慶一 粟島の余効的変動 震研彙報 44(1966)247 259
- 気 象 庁 地震火山概況