

長野市街地における善光寺地震断層の水準測量

地震研究所 佃 為 成
井筒屋 貞 勝
羽 田 敏 夫
橋 本 信 一
小 林 勝
酒 井 要
溝 上 恵

(昭和 62 年 10 月 30 日受理)

要 旨

長野市街地を走る善光寺地震断層を横断する 4 本の路線からなる 46 点の稠密な水準網を張り、1986 年 3 月と 1987 年 3 月の 2 回、精密水準測量を実施した。往復差の統計から、水準点の各区間の水準変動の偶然誤差 (標準偏差) は 0.3 mm である。3 つの環の閉合差から求めた累積誤差は、1 点当り 0.1 mm 以下であった。

1 年間の水温変動は水準網全体に対して、北下り南上りの傾動を示す。その大きさは、 $2.5 \sim 2.6 \times 10^{-6}$ rad/year であって、松代群発地震直後のこの地域の傾向とは逆のセンスである。

水準点近傍の環境や直下の地盤の影響と思われる局所的な異常を除けば、断層を境とした明瞭な西上り東落ちの変動は見い出せなかった。

1. はじめに

長野市街地を走る善光寺地震断層は、善光寺平と呼ばれる長野盆地の西縁に位置する西上り東落ちの逆断層系 (豊野団体研究グループ, 1977; 仁科他, 1985) の一部で、1847 年 (弘化 4 年) の善光寺地震の際、現在の長野県庁の近くで、5 尺 (1.5 m) の床違い (上下変位) を生じた (大森, 1913)。この断層が出現した場所、すなわち県庁から信州大学教育学部にかけての地域の地面や建物、壁などに多数の亀裂が生じていることが最近報道された (信濃毎日新聞, 1986 年 2 月 7 日朝刊)。なかでも県庁の東口玄関の敷石には、2~3 cm に達する東下りの段差が認められ、合同庁舎の石垣には、下から上へ最大 1 cm 程度の開口性の割れ目が生じていた。当初の報道では、このような亀裂群が、ほぼ南北に直線状に伸びているとのことであったが、その後、詳しい調査が行われ、亀裂はもっと四方へ面的に広がっていることがわかってきた (赤羽, 1986; 長野市, 1987)。

この亀裂問題は、北部フォッサマグナ変動帯の活構造線としての役割を担っている地域での現象であるだけに、各方面の研究者の注目を集め、断層を横切った測線において、トラック法による放射能測定 (地質調査所, 1986) や自然地電位測定 (伊藤他, 1987)、重力異常調査 (萩原他, 1986) などが実施されてきた。我々は、亀裂の原因が、地表付近の地

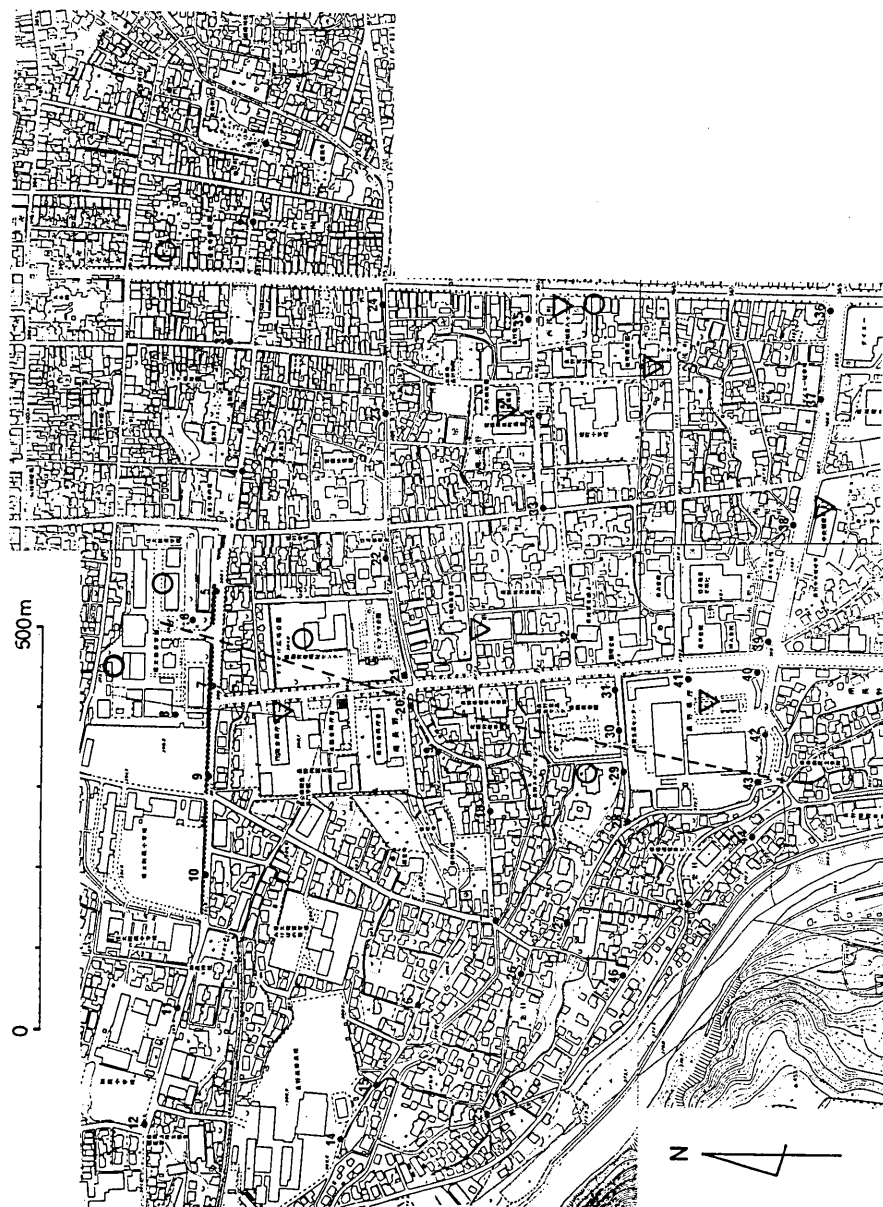


Fig. 1. Distribution of the leveling points (bench marks). Broken line indicates the Zenkoji Earthquake Fault. Places with relatively soft ground estimated by boring surveys are indicated by O, whereas places with hard ground by ▽.

盤の特性によるものなのか、活断層に関係した地殻変動によるものかを見極めるため、高密度水準網による精密な水準測量を実施した。第1回の1986年3月と2回目の1987年3月の間の1年間の上下変動について報告する。

2. 水準点と水準網

調査域が市街地であり、多くの点を必要とするので、ステンレス製の鋏を用いて簡易水準点をこしらえた。半径1cmの半円球の鋏の頭が標石の代りをする。たて溝が切っている鋏の先端の部分は長さ6cm、外径1cmの大きさである。これをコンクリート舗装の道路面や基礎がしっかりしているコンクリート台に、ドリルで内径1cmの穴をあけ鋏を打ち込み、体積変化が小さい2液混合型の接着剤で固定した。埋設地点の多くは、自動車や人々の往来が少いと思われる歩道の端や電柱の陰などである。

Fig. 1 に水準点の分布を示した。N10°EないしN15°Eにのびる善光寺地震断層を横切り、東西に4つの水準路線が作られた。北から(a)信州大学教育学部正門前の通り、(b)裁判合同庁舎南側の通り、(c)県庁北側および(d)県庁南側の通りの4路線である。これらの路線の両端はそれぞれ結合されて3つの環を形成する(Fig. 2)。水準点の間隔は断層付近では約50m、断層から離れた所でも約250mとした。水準網の広さは、東西に最大約1km、南北に約800mとなる。

水準点は、路線(a)の東端、武井神社付近の点をNo.1とし、Fig. 1のように番号を付けた。路線(a)は水準点No.1からNo.12まで、(b)はNo.14からNo.24まで、

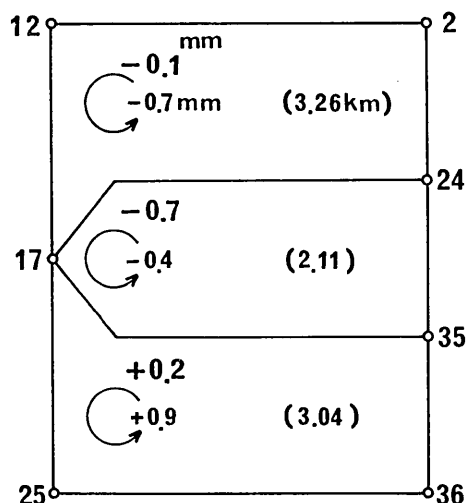


Fig. 2. Three circuits of the leveling network and closing errors, upper values in mm being those of 1986 and lower 1987. The loop length for each circuit is also given in km. The numerals attached to the junctions are bench mark (BM) numbers.

(c) は No. 25 から No. 35 まで, (d) は No. 36 から No. 46 までの区間である. 当初の設置点は 46 ケ所であったが, No. 13 はガス管工事に伴って鉄を埋めたコンクリート台が撤去され, さらにひまわり公園の No. 21 は県庁前の南北に走る通りで行われた共同溝の建設工事のため, 土台が動かされた形跡がある (8 cm ほど浮き上がっていた). 他の 44 点は測量に支障はなかった. なお, No. 41 の点は 1981 年 11 月, 県庁構内に建設された既設の水準点 (標石) である.

3. 測量方法及び精度

測量は Wild 社の N3 レベルと標尺 4821 A 及び B (標尺補正数は 20°C で $5\ \mu\text{m}/\text{m}$) を用いて, 20~50 m 間隔で標尺を置き, ほぼ中点にレベルを据えて各水準点間の比高を求めた. 読み取りは A, B 両方の標尺を交互に 2 回づつ計 4 回行った. その際の読み取りの分解能と精度は 0.1 mm である. つまり, 0.1 mm の単位で測定値が確定する. 1 路線について行きと帰りの 2 回の測定を行い, 各環について一周する.

建設省国土地理院で行われている精密水準測量では, 各水準点間の往復差は $2.5\sqrt{S}$ mm 以下 (ここで S は水準点間の距離 (km)), 環の閉合差が $2.0\sqrt{S}$ mm 以下 (ここで S は環の長さ (km)) と定められているが, 往復差, 閉合差ともほとんどが上記の規準の半分以下に収まっている. 熱膨張による標尺の指標の補正值は 0.1 mm 以下であり, ほとんど問題にならない.

第 1 回の測量は, 1986 年 3 月 15 日~21 日, 2 回目は 1987 年 3 月 17 日~23 日の各 1 週間の間に実施した. それぞれの回の測定結果を Table 1 と Table 2 に示す. これらの測定値の精度を見積るために, まず往復差から推定される 2 水準点間の比高の測定の偶然誤差を検討してみる.

行きと帰りの比高の測定を n 回行い, その時の平均値をそれぞれ X, Y とすると n が大きくなると中央極限定理によって往復差 $X-Y$ は標準偏差 $\sigma = \sqrt{2\sigma_0^2/n}$ をもつ正規分布に近づく. ここで σ_0 は比高測定値のバラツキの標準偏差である. 我々の場合は $n=1$ であるが, この場合も近似的に上の式が成り立つと考えると $\sigma = \sqrt{2}\sigma_0$ となる.

各水準点間の往復差の分布は Fig. 3 のようになる. 各区間は距離が同じではなく, 距離が長いほどレベルや標尺の据えつけ回数が増えるし, 地形やまわりの状況も異なるので, 厳密には同等に扱えないが, そのような違いによる影響は小さいと仮定し, 同じ区間で何回も測定したことに相当すると考えることにする. 実際, 往復差の距離に対する依存性は Fig. 4 に示されているが, 長い距離の場合に大きな往復差が生じやすい傾向が認められるものの, 大部分のデータは無相関とみなしてよい. 往復差の標準偏差 $\sigma_1=0.31$ mm より, 比高測定の偶然誤差 (バラツキの標準偏差) は $\sigma_0=\sigma_1/\sqrt{2}$ となる.

次に, 2 回的水準測量による一年間の変動量 (比高の差) (Table 3) の偶然誤差 σ_2 も往復差と同様に考え, 水準点の各区間に対し $\sigma_2=\sqrt{2}\sigma_0$ という関係を導くことができる. 結局 $\sigma_2=\sigma_1$, つまり往復差の誤差と変動量の誤差が等しくなる. ここでは $\sigma_2=0.31$ mm である.

Table 3. Level change during the period from March, 1986 to March, 1987 for each bench mark. BM No. 1 is adopted as a reference point.

| BM. | 86Mar. | 87Mar. | 87Mar.-86Mar. | | BM. | 86Mar. | 87Mar. | 87Mar.-86Mar. | |
|-----|---------|---------|---------------|-------|-----|---------|---------|---------------|-------|
| | m | m | mm | mm | | m | m | mm | mm |
| 1 | | | | 0 | 17 | | | | + 0.6 |
| | +4.0894 | +4.0896 | + 0.2 | | | -0.6399 | -0.6372 | + 2.7 | |
| 2 | | | | + 0.2 | 26 | | | - 2.1 | + 3.3 |
| | +4.2650 | +4.2645 | - 0.5 | | | -1.9381 | -1.9402 | | |
| 3 | | | | - 0.3 | 25 | | | + 0.3 | + 1.2 |
| | -0.0522 | -0.0514 | + 0.8 | | | -2.0843 | -2.0840 | | |
| 4 | | | | + 0.5 | 46 | | | + 0.4 | + 1.5 |
| | +2.3062 | +2.3061 | - 0.1 | | | -0.2903 | -2.2899 | | |
| 5 | | | | + 0.4 | 45 | | | - 0.4 | + 1.9 |
| | +2.0686 | +2.0687 | + 0.1 | | | -2.1020 | -2.1024 | | |
| 7 | | | | + 0.5 | 44 | | | + 0.2 | + 1.5 |
| | +0.4743 | +0.4744 | + 0.1 | | | -1.6214 | -1.6212 | | |
| 9 | | | | + 0.6 | 43 | | | - 0.3 | + 1.7 |
| | +0.8590 | +0.8585 | - 0.5 | | | -0.1868 | -0.1871 | | |
| 10 | | | | + 0.1 | 42 | | | - 0.7 | + 1.4 |
| | +2.6405 | +2.6413 | + 0.8 | | | +0.5161 | +0.5154 | | |
| 11 | | | | + 0.9 | 40 | | | + 1.1 | + 0.7 |
| | +1.2704 | +1.2705 | + 0.1 | | | -1.7935 | -1.7924 | | |
| 12 | | | | + 1.0 | 39 | | | + 0.2 | + 1.8 |
| | -4.1611 | | | | | -1.5282 | -1.5280 | | |
| 13 | | -6.9073 | + 0.5 | | 38 | | | - 0.3 | + 2.0 |
| | -2.7467 | | | | | -1.8931 | -1.8934 | | |
| 14 | | | | + 1.5 | 37 | | | + 0.3 | + 1.7 |
| | -1.2181 | -1.2212 | - 3.1 | | | -0.4810 | -0.4807 | | |
| 15 | | | | - 1.6 | 36 | | | - 0.5 | + 2.0 |
| | -0.4100 | -0.4072 | + 2.8 | | | +3.4022 | +3.4017 | | |
| 16 | | | | + 1.2 | 35 | | | | + 1.5 |
| | -7.4192 | -7.4198 | - 0.6 | | | | | | |
| 17 | | | | + 0.6 | 17 | | | | + 0.6 |
| | -1.0816 | -1.0815 | + 0.1 | | | -3.9113 | -3.9105 | + 0.8 | |
| 18 | | | | + 0.7 | 27 | | | + 0.3 | + 1.4 |
| | -0.7057 | -0.7060 | - 0.3 | | | -1.9861 | -1.9858 | | |
| 19 | | | | + 0.4 | 28 | | | + 0.1 | + 1.7 |
| | -0.1679 | -0.1679 | + 0.0 | | | +0.4050 | +0.4051 | | |
| 20 | | | | + 0.4 | 29 | | | - 0.2 | + 1.8 |
| | +0.9017 | +0.9816 | +79.9 | | | -0.0896 | -0.0898 | | |
| 21 | | | | +80.3 | 30 | | | - 2.0 | + 1.6 |
| | -2.3028 | -2.3824 | -79.6 | | | -0.2212 | +0.2210 | | |
| 22 | | | | + 0.7 | 31 | | | - 0.1 | + 1.4 |
| | -0.7487 | -0.7484 | + 0.3 | | | -1.0071 | -1.0072 | | |
| 23 | | | | + 1.0 | 32 | | | - 0.9 | + 1.3 |
| | -0.1410 | -0.1413 | - 0.3 | | | -2.4491 | -2.4500 | | |
| 24 | | | | + 0.7 | 33 | | | + 0.3 | + 0.4 |
| | +6.3693 | +6.3688 | - 0.5 | | | -1.0055 | -1.0052 | | |
| 2 | | | | + 0.2 | 34 | | | + 0.8 | + 0.7 |
| | | | | | | -0.8178 | -0.8170 | | |
| 5 | | | | + 0.4 | 35 | | | - 0.8 | + 1.5 |
| | +4.1435 | +4.1436 | + 0.1 | | | +6.3943 | +6.3935 | | |
| 6 | | | | + 0.5 | 24 | | | | + 0.7 |
| | +0.3514 | +0.3496 | - 1.8 | | | | | | |
| 8 | | | | - 1.3 | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| 31 | | | | + 1.4 | | | | | |
| | -2.1411 | -2.1408 | + 0.3 | | | | | | |
| 41 | | | | + 1.7 | | | | | |

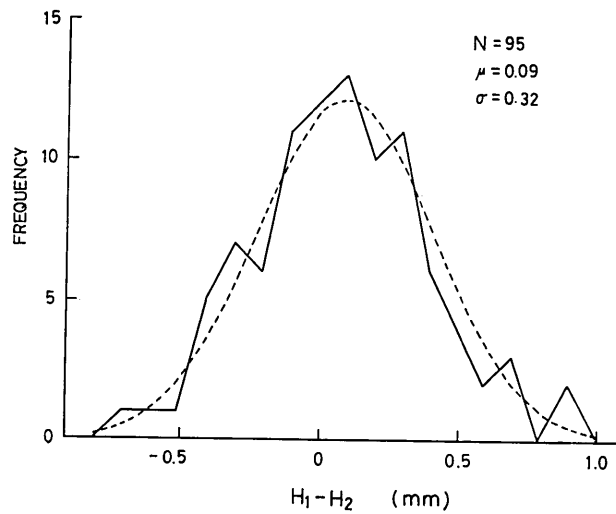


Fig. 3. Distribution of the discrepancies between measurements of relative heights between consecutive leveling points conducted two times, forward and backward directions along the leveling route.

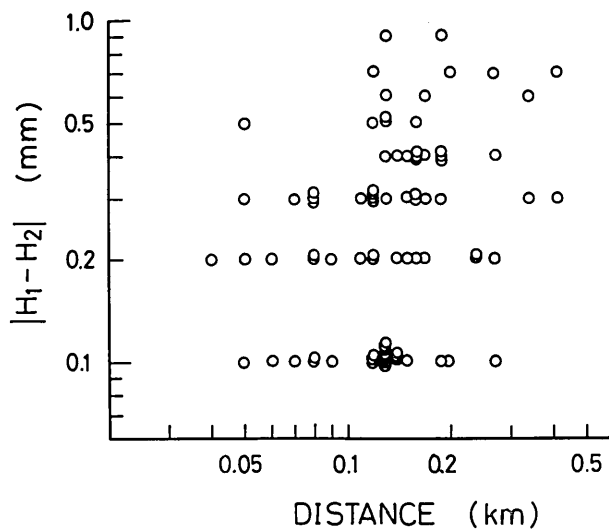


Fig. 4. Absolute values of the discrepancies between the two measured values of relative heights between the consecutive leveling points versus distances between them.

一方、水準路線に沿って系統的な誤差が累積するならば、環を一周すると閉合差に記録されるであろう。3つの環 (Fig. 2) について、条件方程式をたて、距離についての重みつき最小自乗法によって、それぞれの路線の比高の系統誤差を求め、各路線ではその誤差を距離に比例して均等に割りふると、各水準点に対して系統誤差を与えることができる。その値は2回の測量とも、せいぜい0.1 mmであった。

以上を総合すると、各水準点における変動量は $\pm 0.3 \sim 0.4$ mm程度の誤差 (標準偏差) を有していると言える。正規分布を仮定すると、95%の確率で測定値の誤差は $\pm 2\sigma$ の範囲に入ってしまうから、5%の危険率で誤差の大きさは ± 0.8 mmということができる。

後の議論で重要なので、No. 31とNo. 33の間の比高の測定値についてここで触れておく。2回目は+0.1 mmであるのに、1回目の測量では往復差が+0.9 mmと全測定を通じて最大の値であった。測定値としては往復の平均を採用しているが、真の値がどちらかに偏っているとすれば、No. 33はNo. 32に比べ0.4~1.4 mm低いという結果ができるが、この場合でもNo. 33が相対的に沈降したということは変わらない。その他にも、0.7~0.9 mmという大きい往復差が記録された区間 (No. 3~4, No. 9~10, No. 15~16) がある。いずれの場合も2回の測量のうち1回のみである。最悪の場合を考えるとNo. 3~4, No. 9~10の区間の傾斜変動は有意とはいえなくなる。

4. 水準変動

Fig. 5は、往復差の平均と閉合差による網平均を施して得られた各水準点における1年間の水準変動量を示している。但し、No. 1の水準点を不動点と仮定した。

図に現われた変動の中で、きわめて局所的なものがいくつかある。No. 15は、長野市街地西部を流れる裾花川の河岸段丘の落差が8 mある段丘崖の石垣の上に作ってあるが、隣の点に比べて3 mmに達する沈下は異常であり、この崖が重力的に不安定であることを示しているものと推察される。これに対して、No. 26はまわりに比べ、2 mmほど上昇しているが、実は、近くに幹の直径が約50 cmほどの大木が根を張っていて、それが地面を持ち上げた可能性が高い。それ以外の局所的変動については地盤の性質かと思われる。これについては次節で議論する。

これらの局所的異常な点を除けば、各路線とも、東西方向に大きな変動はみられない。強いて述べるならば、県庁北側の路線 (c) のNo. 33~34あたりが西側 (No. 27~30) や東側 (No. 35) のレベルに対し、約1 mmほど沈下しているのが目につく。この変動は、他の路線にはみられないもので、やはり局所的な変動である可能性が高い。これが断層運動と結びつくかどうかははなはだ疑問である。また、この県庁北側の東向き沈下が、地殻変動として経年的に続行しているとしても、県庁の敷石の段差を説明することはできない。現在の県庁が建設されたのは1966年であり、20年ほど経過している。この間2~3 cmの沈下を生じさせるためには年間1~1.5 mmの変動が、きわめて短かいスパンで認められなければならない。しかし、その玄関に近い県庁北側の路線のNo. 29からNo. 31にかけての東落ちの傾斜は水平距離100 mで0.4 mm沈下であるが、これが20年間積み重ねられても8 mmにしかならない。

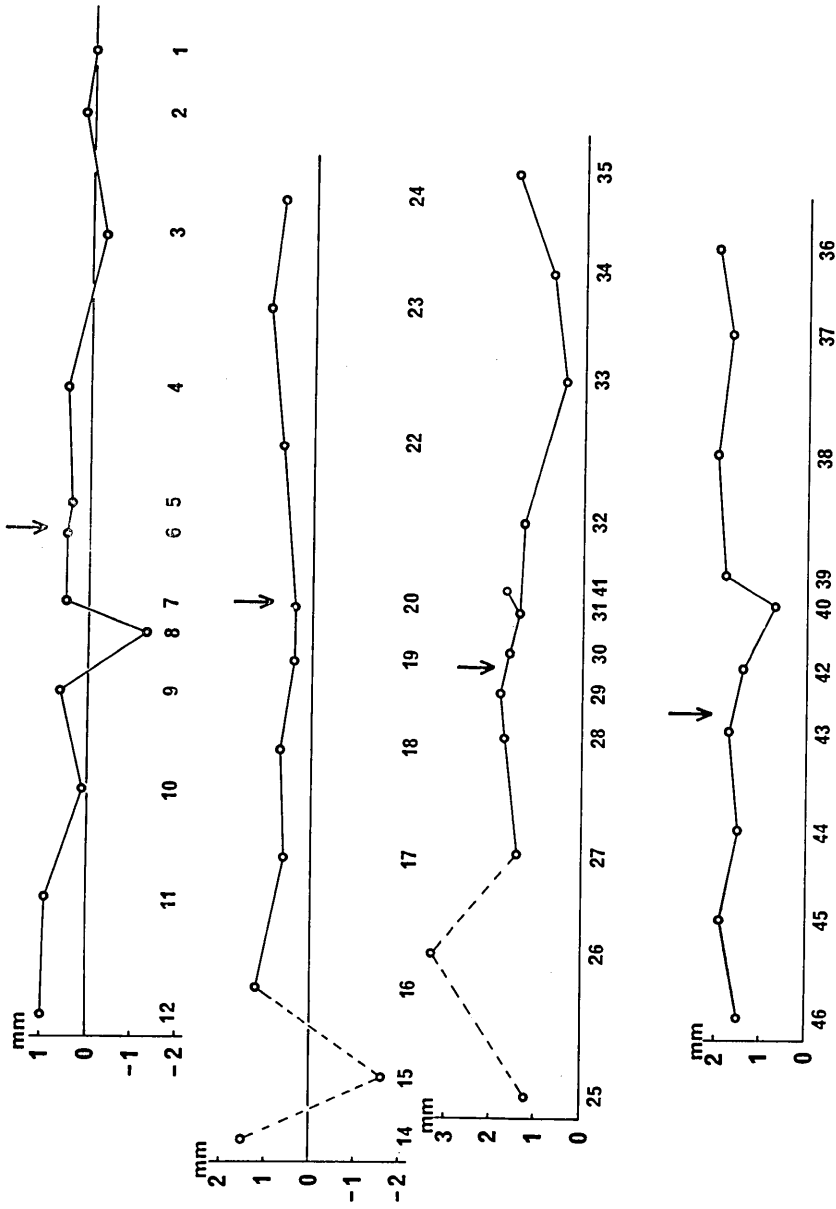


Fig. 5. Level change during the period from March, 1986 to March, 1987 at each bench mark. BM No. 1 is adopted as a reference point.

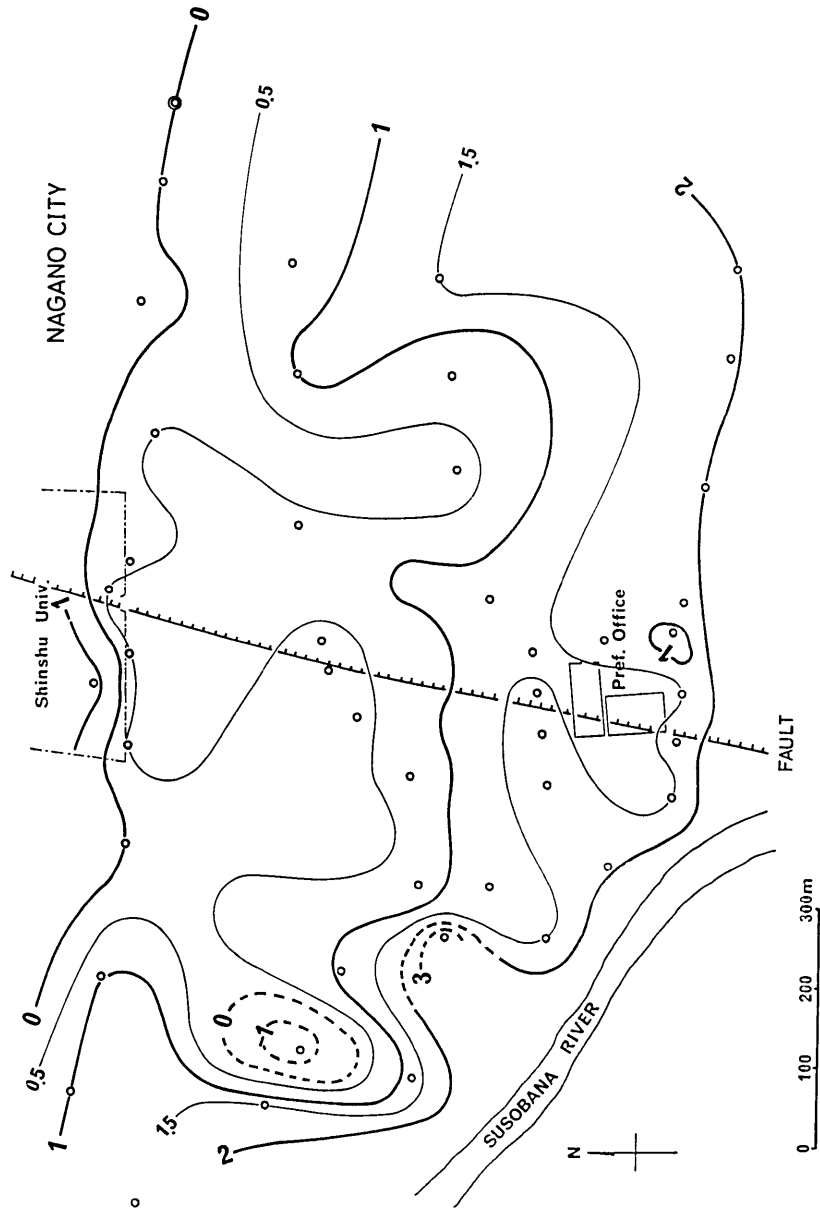


Fig. 6. Contor map of the level change. Broken lines indicate the unreliable data due to extremely local effects.

以上のように、西上り東下りの断層を示唆するような地殻変動は今回までの測量からは得られなかった。Fig. 6 に水準網による水準変動の等高線を示した。これをながめても断層との関連は不明である。ただ、全体の水準変動は北下り南上りの傾動が顕著である。その傾斜は水平距離 800 m に対して 2 mm であるから、 2.5×10^{-6} rad となる。

5. 議 論

まわりと比べ異常に変動が大きい水準点のうち、原因が外見では不明な水準点が信州大学構内の No. 8 と県庁構内の No. 40 (広告塔の土台) であった。これらの地点は沈下しており、下に軟弱地盤が存在するのではないかと思われるが、直接的な証拠はない。そこで、ボーリング資料 (長野県建築士会, 1973) から、水準網地域の地盤の様子を調べてみた。

Fig. 1 に○と▽で示したのが、それぞれ比較的軟弱な地盤と比較的しっかりした地盤の資料が得られた場所である。○は、① 粘土やシルト、砂を主体にした層が深さ 10 m まで続き、② その深さまで N 値が 50 より小さい場所を示す。▽では、砂礫層や玉石まじり礫層が数 m の深さでも現われる。

図を見ると、No. 8 が置かれた信州大学の構内では、地盤が軟かいところが 2 ケ所もあり、No. 8 もそのような場所なのかもしれない。一方、県庁構内では、ボーリング調査地点の地層は礫層であって、そこは軟弱とはいえない。しかし、そのすぐ北の敷石の段差やすぐ南側 (水準点 No. 40) の異常沈下を考慮すると、非常に局所的に地盤が違い、不等沈下をもたらしていると考えられる。

水準変動は地下水の影響を受ける。長野市公害対策課の台帳に載っている井戸の分布は、水準網地域では県庁東側の南県町付近に集中している (7 ケ所)。水位は地表下 5 m 程度のもものと 24 m 程度のものである。水中ポンプやサクションプンプで揚水している所もある。1 ケ所の汲み上げは最大 30 t/日である。一般に地下水の汲み上げは地盤の沈下をもたらすが、No. 32 や No. 33 のあたりの沈降がこれと関係があるかどうか注目される場所である。

もし、Fig. 6 の変動パターンの不規則な乱れが地盤や地下水の効果だとすると、善光寺地震断層の運動を示すパターンはまったく見られないことになる。同様な場所で行われた重力の測定 (萩原他, 1986) でも、この断層を境にした地下の基盤の落差を示す重力値のパターンは見い出されなかった。基盤と被覆層の密度差が小さいためか、あるいは、非常に低角の逆断層のため基盤の違いは、地表の断層線よりずっと北西の方に生じている可能性がある。後者が原因であれば、定常的な断層運動が実際に進行しているとしても、水平変動は大きいかもしれないが、上下変動は微小であろう。この地域は北西・南東方向の水平短縮の歪場にある (国土地理院, 1987) ので、我々の水準測量の結果をそのような広域の水平歪の中での地域的な上下変動と捉えるべきである。

Fig. 6 の全体のパターンが示す通り、だいたい南北方向に対して北下り南上りの傾斜が明瞭である。Fig. 7 には、この分布図の中央部だけの水準点のデータを用いて南北方向の高度変化を示した。地形高度とは逆の傾斜である。地形面の北部の急勾配は、湯福沢川の扇状地、ゆるい斜面は裾花川の扇状地に対応している。傾動はこの南北方向の測線に沿っ

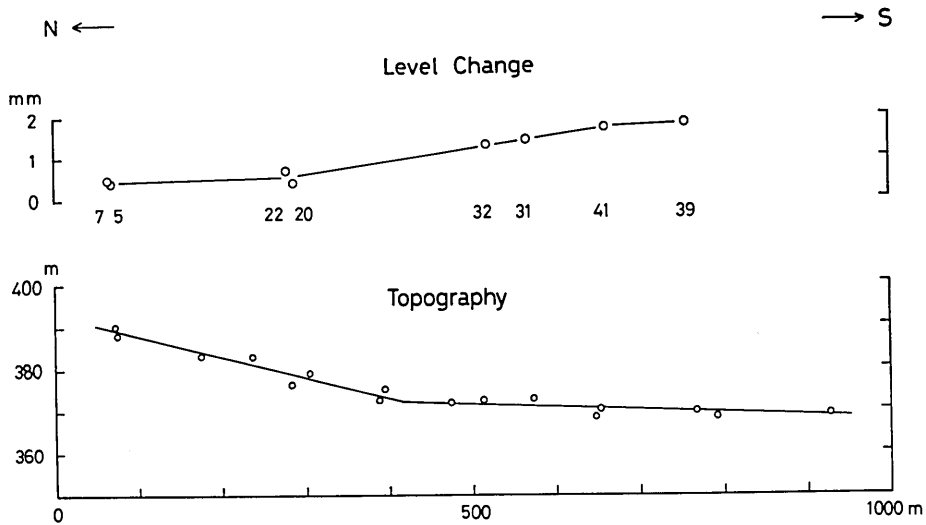


Fig. 7. Level change in the N-S direction together with the topographic section for the central part of the leveling network. Adopted bench marks are indicated by thier numbers. The steep and gradual slopes correspond to aluvial fans of the Yufuku-sawa channel and Susobana river, respectively.

て一様ではないが中央部の 500 m (水準点 No. 22~No. 41) に対して 1.3 mm 南上りと読める。この場合、 2.6×10^{-6} rad/year であり、前節で算出した 2.5×10^{-6} rad/year とはほとんど変わらない。

この値は、東大地震研究所北信微小地震・地殻変動観測所 (現在の信越地震観測所) の大峰観測坑 (長野県庁から北へ約 2 km に位置する) における 1969 年~1977 年当時の水管傾斜計による傾斜変動 $4 \sim 13 \times 10^{-6}$ rad/year より小さい。但し、この場合は北上りのセンスであった。また、同じ頃県庁の西約 500 m, 裾花川の対岸の平柴で行われた水管傾斜計観測 (大竹他, 1972) でも同じく北上りの傾動が記録されている (値は大峰の $1/3 \sim 1/2$)。これらの傾動は、松代群発地震当時の 1967 年に発見された長野市吉田地区を中心とする異常隆起 (国土地理院, 1967) に対応しているものと解釈されている (小林他, 1977)。

一帯の地殻変動の傾向が松代群発地震直後の時期と現在では大きく変化したといことができる。大峰観測坑での傾斜変動は、最近数年間の傾向はほぼ平坦ないしやや南上りで少くとも明瞭な北上りではない。

6. まとめ

善光寺地震断層を中心とした高密度高精度の水準測量を 2 回行って 1 年間の上下変動分布を求めた。2 水準点間の比高測定 of 偶然誤差 (標準偏差) は $0.31/\sqrt{2}$ mm 程度であった。閉合差から推定した系統的累積誤差は各点で 0.1 mm 以下である。したがって、水準変動のバラツキの標準偏差は 0.3~0.4 mm であり、5% の危険率で誤差を $\pm 0.6 \sim 0.8$

と見積ることができる。主な結果は以下の通りである。

(1) 上下変動の局所的な異常については、水準点設置状況や、地盤や地下水の影響の可能性が指摘された。

(2) 断層を境にした北西上り南東落ちの明瞭な上下変動は見い出せなかった。

(3) 水準網全体は、北下り南上りの傾動を示す。変動率は $2.5 \sim 2.6 \times 10^{-6}$ rad/year である。これは地域の地殻変動を表わしていると思われるが、松代群発地震直後 (1969~1977 年) とは逆の傾向である。

謝 辞

水準点の設置については、設置点付近の住民の方々や関係各位の御理解と御協力を賜わった。測量実施については信州大学教育学部の赤羽貞幸助教授の御助力をいただいた。長野市総務部防災課長柳沢昭夫氏や国際航業株式会社の中村通氏には長野市の地盤や地下水の資料を見せていただいた。また、財団法人地震予知総合研究振興会 (萩原尊礼会長) には研究費の助成をしていただいた。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 赤羽貞幸, 1986, 長野市市街地の割れ目群, 地震予知連絡会会報, **36**, 168-171.
 地質調査所, 1986, 長野県善光寺地震断層近傍の α トラック調査, 地震予知連絡会会報, **36**, 164-167.
 萩原幸男・長沢 工・大久保修平, 1986, 善光寺地震断層の重力調査, 地震研究所彙報, **61**, 529-535.
 伊藤芳朗・柴田 東・桐原啓真・畑山憲次・南雲正博, 1987, 長野市街地におけるクラック群の自然電位法による検出, 地震学会講演予稿集, No. 2, 37.
 小林 勝・千葉平八郎・羽田敏夫・橋本信一・大竹政和, 1978, 長野市における地殻変動連続観測 (II) 一大峰観測点の傾斜変化 1969~1977一, 地震研究所彙報, **53**, 1227-1235.
 国土地理院, 1967, 松代群発地震に伴う測地測量報告 (第2報), pp. 62.
 国土地理院, 1987, 日本の地殻水平歪 1985-1883, 地震予知総合研究振興会, pp. 133.
 長野県建築士会, 1973, 長野市地盤図, pp. 245.
 長野市, 1987, 長野市街地亀裂調査業務報告書, pp. 44.
 仁科良夫・松島信幸・赤羽貞幸・小坂共栄, 1985, 長野県の活断層一活断層分布図と資料一, 信州大学理学部紀要, **20**, 171-198.
 大森房吉, 1913, 本邦大地震概説, 震災予防調査会報告, **68乙**, 93-109.
 大竹政和・山田重平・小林 勝, 1972, 長野市における地殻変動連続観測 (I) 一平柴観測点の傾斜変化, 地震 **2**, **25**, 243-253.
 豊野層団研究グループ, 1977, 長野盆地西縁部の第四系一長野盆地の形成史に関する研究一, 地質学論集, **14**, 79-92.

*Leveling Survey across the Zenkoji Earthquake Fault
in the City of Nagano*

Tameshige TSUKUDA, Sadakatsu IZUTUYA, Toshio HANEDA,
Shin-ichi HASHIMOTO, Masaru KOBAYASHI, Kaname SAKAI
and Megumi MIZOUE

Earthquake Research Institute

Precise leveling has been conducted across the Zenkoji Earthquake Fault in the central part of the city of Nagano in central Honshu, Japan. The bench marks, totaling 46, form four routes across the fault and three circuits. The first leveling was carried out in March, 1986 and the second in March, 1987. The standard deviation of accidental errors for the changes of relative heights is estimated to be 0.3 mm, with cumulative errors within 0.1 mm for each point.

One year period leveling change shows tilting movement dipping to the north, with the slope of $(2.5-2.6) \times 10^{-6}$ rad/year. This region had once been in the field of tilt dipping nearly south in 1969-1977. The recent trend revealed by the leveling survey is nearly opposite.

Any significant level changes across the fault cannot be recognized except for one route, where the eastern side of the fault has subsided up to 1.4 mm in comparison with the opposite side. Even along this route, the vertical displacement of 2-3 cm, with the eastern down, discovered on the pavement in front of the entrance of the prefectural office, just near the fault, cannot be attributed to crustal movement, because the level change was less than 0.4 mm per year for the span of 100 m across the fault, which would have yielded an offset of eight millimeters at most during the past 20 years.
