

奈良尾地すべりの地表の変状よりみた二三の考察

正会員 吉沢孝和 ○学生員 薄羽正弘
学生員 細田英行 学生員 赤津良治

概要 本報告は、長野県信州新町奈良尾地区に発生した大規模地すべり地の地表に設置した測点の立体的な移動量の定期観測結果を用いて、水平・鉛直投影面上での変位、地表ひずみの略算値、面積変化率等を計算し、現地の状況との関連において考察を述べたものである。

観測法 奈良尾地区の各所で一せいに地すべりのクラックが発生したのは1976年10月6日である。応急的な観測法として当初はクラックの両側に木ぐいを打ちこみその間の距離変化により地すべり進行の目安とした。10月19日からは地すべり地域内に11個のコンクリートぐいを設置し、これを谷を隔てた安定した観測点から測距(ジオジメータ6B)と測角(ウィルドT2B)により定期観測した。観測点と地すべり地との距離は1~2kmであり、測定値の誤差は±1cm以内と考えられる。観測は10月中は毎日、11月から翌年1月30日までは5日間隔で行なった。それ以降7カ月間は予算の都合で中止となったが、1977年9月からは1カ月間隔で再開された。本文では1月30日までの観測結果について解析したものを記述する。

地すべり地の概要と測点の移動 図1にこの地域の概要を示す。地すべりは約200mの幅で長さ約1kmにわたって発生し、東側の山腹から西側に向かって流動している。東側が頭部で西側が脚部でありその高低差は約100mである。また、この地域の南と北側に深い谷がありほぼ東から西の方向に流下している。したがってこの地すべりは、東から西に傾斜するひとつの尾根上に発生した地すべりとみることができ、地域のほぼ中央部に小高い台地があることと地域の西端部では南側の谷に向かって急傾斜の地形を示していることから、複雑な変状があらわれる結果となった。

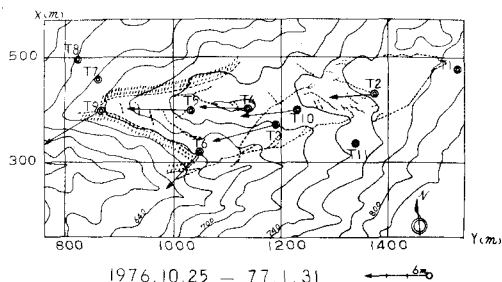


図1 地すべり地内の測点の水平移動

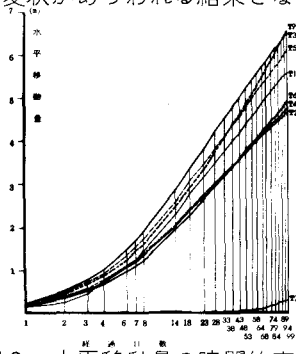


図2 水平移動量の時間的变化

図1のT1, T2等の点は観測開始時の測点の位置を示す。その後約3カ月経過した時点における測点の位置を結んでベクトル表示した。これによると、T1, T7, T8, T11は不動、台地上の測点T4, T5は東から西へ、また、測点T2, T10, T3と進むにつれて変位方向が東西方向から次第に南側の谷側へ偏していく状況がうかがえる。T6, T9の2点は地すべりの脚部に該当する位置にあるが、その南側は深い谷に面しているため、後方から押し出してくる土砂がほとんど谷に滑落することを代表するような動きを示す。

図2には各測点の移動量の時間的变化を示す。経過日数は10月23日より起算している。日数の経過とともにグラフは直線状となり、各測点の変位は指数曲線的に変化していくことが分かる。

図3は地表の測点の変位の3軸方向成分を合成して、これを鉛直投影面に投影したものである。φは鉛直投影面がX軸(N方向)を含む鉛直面となす角である。図において、水平変位成分(U軸)が最大となるような角φがその点のすべりの方向をあらわすものと考えることができる。これらの図から地すべり地内の諸点の変位特性を類推することができる。T5は台地の西端にあり、後方からの押し出しによる影

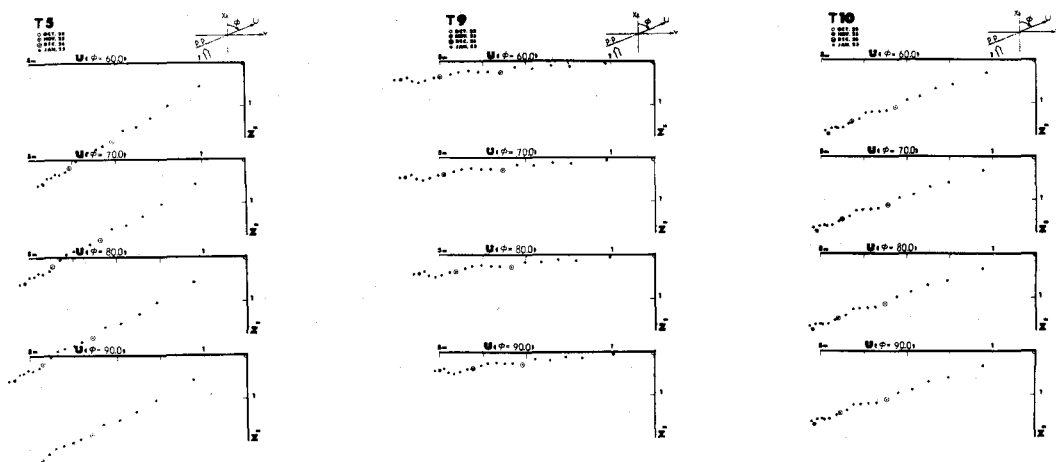


図3 鉛直投影面における各測点の変位

表1 測点の変位方向の変化

	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-9	T-10
OCT. 25	84	73	91	92	36	58	81
NOV. 6	86	72	91	92	34	59	79
10	87	73	90	91	43	37	84
15	77	75	91	94	41	58	82
20	94	72	88	89	43	39	85
25	70	75	94	104	41	58	76
30	92	62	77	94	50	56	84
DEC. 5	84	93	106	88	32	55	88
10	85	81	87	87	40	62	80
15	93	83	90	98	42	60	86
20	94	66	94	98	43	52	83
26	77	78	87	77	37	56	76
30	86	64	86	115	51	58	85
JAN. 5	70	81	103	74	31	37	98
10	100	88	72	99	68	62	75
15	88	59	111	174	29	39	72
20	72	89	92	85	49	47	78
25	99	84	78	89	53	46	111
30	68	64	87	86	21	52	93

響を受けてはいるが、この点の南西部は谷に向かう急傾斜であり、その斜面には大規模な崩落が発生している。このためT5は局部的には地すべりの頭部のような位置にあり、下方にわん曲した曲面上をすべり落ちるような傾向がつよい。T9は地すべり脚部の測点である。測点の足もとは谷に向かって常時くずれているにもかかわらず、後方からの圧力の影響で水平方向の移動量のほうが沈下量よりも大きく、時々隆起を生じながら崩壊していく状況がよく分かる。T10は地すべり地のほぼ中央部の測点であり、その動きは複雑であるが、地すべりの起動力とこれに抵抗しようとする力とが交互に作用し合いながら全体的に波状を呈して流動していく状況を観察できる。

表1は5日間隔の観測値について各測点の変位の方角を調べたものである。わくの中の数値は水平面上に投影した変位の方角であり、北の方角から測った水平角を度単位で示してある。またわくの中に記号をつけた部分は、鉛直投影面での変位のこう配が上向き(隆起)を示した場合でありその傾斜角は表に示した記号にしたがう。脚部のT6とT9に

は地すべりの当初から隆起の傾向があらわれている。この表の中で特に注目したいのは、1月5日から15日までの期間にすべての点に隆起の現象があらわれたことである。この原因がどこにあるかは他の分野での種々の観測結果と照合して今後検討しなければならない。

地表のひずみと面積変化 地表の2つの測点間のある時点における距離を基準にして、それぞれの測定日の観測値より得られた距離との差を基準にとった距離で除して得られる値を2点間のひずみと考える。基準距離は10月25日の観測値より得られた値を用いることにする。すべての測点間についてこのひずみを求め、それを各点ごとにベクトル合成したものを図4に示す。

これは10月25日と12月26日の観測値より計算したものである。図の中の細い線は12月22日に現地でスタジア測量によって求めたクラックである。地表には各所に無数のクラックが生じているが図示のものは段差または幅が50cm以上のものである。なお、地すべり脚部は危険状態のため測量できなかった。図示のような各測点を結んだ多角形を考え、これを弾性体と仮定すれば、各測点におけるひずみの合成ベクトルはこの弾性体に作用する力の大きさと方向をほぼ近似的にあらわしているものと考えることができ、クラックの発生状況と対比するとよく対応する部分も認められる。

図5は2つの測点間のひずみを示したものである。これによると、測点2～3間は引張ひずみでクラックの方向がほぼ直交する。測点4～10間は圧縮ひずみでクラックは2点を結ぶ方向に平行に走っている。測点3～4間はずかしながら圧縮されている。クラック群AとBは12月22日の測定によるものである。破線のクラックCは翌年3月29日に撮影した空中写真により判明したものであり、この地すべりの特性をつかむ上で貴重な手がかりとなった。すなわち、測点4は地すべり地中央部の小高い台地上にあり、この台地は上方から押し出す力によりほぼ西の方向に移動する。上方から流動する土砂は、この台地の抵抗を受けてその方向を南側の谷の方向に向け、クラックCに沿って移動するため、地表にはこのような変状があらわれたものと考えることができる。

図6, 7, 8には三角要素および四角要素の各辺のひずみを測点ごとに合成したものを示す。合成ひずみとクラックとの対応を見ることができる。

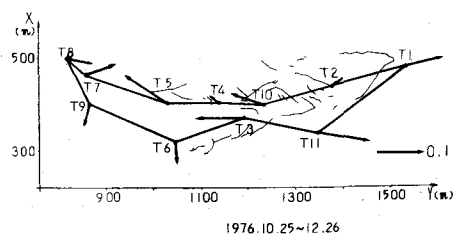


図4 全測点についてのひずみベクトルの合成

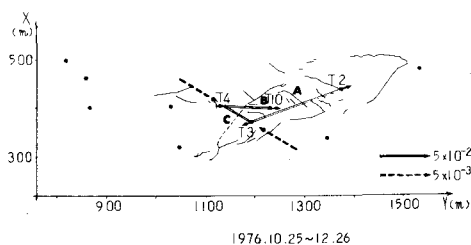


図5 2点間の直線ひずみとクラックとの関係

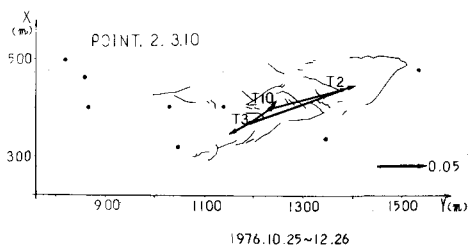


図6 三角要素の辺ひずみの合成とクラック(1)

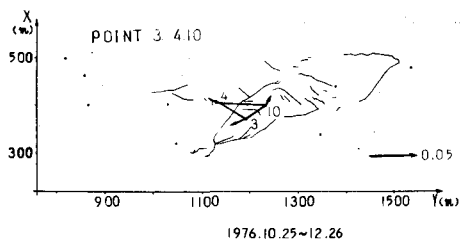


図7 三角要素の辺ひずみの合成とクラック(2)

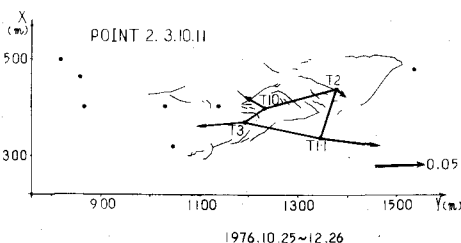


図8 四角要素の辺ひずみの合成とクラック

図9は任意の3個の測点を結合してできる三角形の面積を10月25日を起算日として各測定日の値との比を示したものである。地すべり地域内の頭部から中部における三角形の面積はいずれも増加の傾向を示す。脚部の三角形の面積は減少の傾向を示している。二、三の三角形について前述のひずみの合成ベクトルを同図に示したが、面積の増減と完全に対応している。

概略、面積の増加率が正のものは引張帯、負のものは圧縮帯とみなしうると考えられる。面積の増減率は時間の経過とともに指数曲線的に変化していくが、途中で増加率が止まったり逆符号の増加率となる部分がある。これが地すべり土塊に作用する力と関係のあるものかどうかについては上記のひずみベクトルの変化等と対比して検討していかなければならない。

なお、地すべり地内には採水点が数カ所設けられ、地下水中のラドン濃度が測定されている。その結果をみると、11月中旬に濃度が急上昇した地点があり、この時期より10日ほど遅れて面積の増加率が一時停止したり逆に減少するという結果を得た。これらの相関性についてはさらに検討を加えた上で報告する積りである。

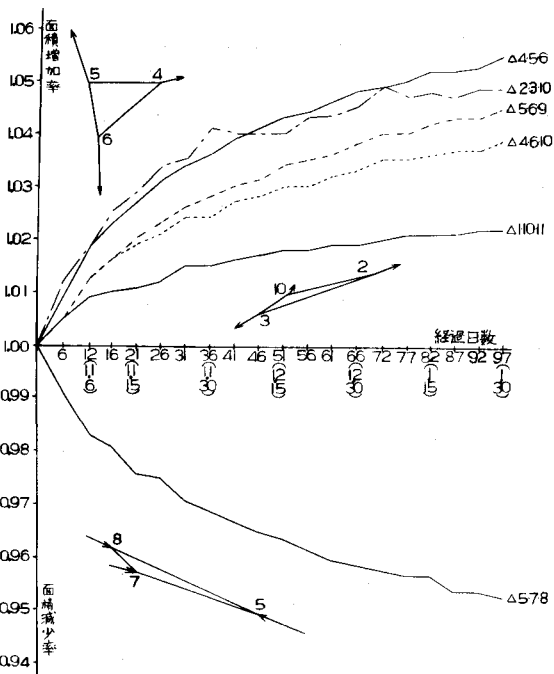


図9 三角形面積の増減率の時間的变化

地すべりを円弧すべりと仮定した場合の考察

この地すべりは円弧すべり面上をすべり、地表の測点もすべり面上の土塊の運動と同一の挙動を示すという仮定を設ける。測点の変位をすべり方向の鉛直面に投影すれば、各測点の変位の軌跡は同心円を描くことになる。この性質を利用して、ある期間における2つの測点の鉛直投影面上での軌跡からすべり円の中心の座標を求めてみた。

図10はこのようにして求めた鉛直投影面上での円弧の中心座標の時間的変動である。T4とT6およびT5とT9は地すべり地の南西部に位置し、山腹の上と下の関係にある。そこには図1に見るような大崩落が発生しており、局部的には、T4, T5は頭部、T6, T9は脚部のような位置関係にあるため、円弧中心座標の変動は比較的小さい。したがってこれらの測点で囲まれる部分には円弧すべり面が存在すると考えられる。

同じような考察を地すべり地の東部の測点T2と西端の測点T9について行なってみると、図に見るように円弧中心点の変動は非常に大きい。これは2点間の距離が大きいことによる誤差またはこれら2つの点は移動方向の異なる別個の土塊上にあることによるいずれかの原因と考えられる。

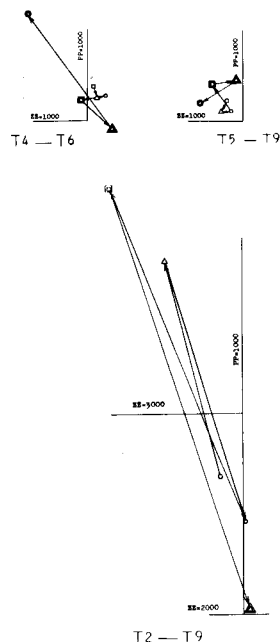


図10 すべり円弧中心点の変動