

24 地すべり表層部の移動量解析 ～静岡県由比における地すべり実験より～

○芝野博文・西尾邦彦（東大農）

川辺 洋（三重大生物資源）・山口伊佐夫（東農大農）

1. 始めに

地表面の移動の様子を測定する方法としてインバー線による2点間の相対的な移動の測定法がある。この報告では、3次元的な量を持つ絶対的な移動量を測定することを目的として、試験地内に格子状に配置された移動杭の移動の様子を光波セオドライトを用いて把握することを試みた。

この方法には、空間的な移動の方向と量がわかること、移動杭を平面的に数多く設置することにより移動の地表面における分布状況がわかるなどの利点がある。滑りの状況の記述に加えて、この観測結果に基づき、土体の移動がせん断変形によって生じているとの仮定の下に滑り面（土体の移動領域と不動領域との界面）の推定を試みた。

2. 観測方法

図-1に試験地の平面図をしめす。図中の格子の交点に移動杭を打込み、測点とした。試験地の西方150mほどに位置する小尾根に光波セオドライトを設置し、高さ10cmほどの小型のリフレクター1個を1日約2回ずつ各測点の杭の頭に載せて順次測定した。測点は10列（A、B、・・・J列）、5行（1、2、・・・5行）で構成され、視準できない格子点2つをのぞいて48点設定した。ひととおり測定するのにおよそ40minを要している。測定は昭和63年2月上旬から3月上旬まで行なわれたが、そのうち2月2日から22日までを取り出して紹介する。

各測点に対して測定する項目は、斜距離のほか基準点からの水平角と高低角であり、斜距離は気温と気圧に対する補正も行なった。

3. 観測結果

地滑りの発生から終息に至る期間に得られた観測値の時系列変化をプロットした例が図-2である。水平角・高低角・斜距離ともS字あるいはZ字を描いて地表変動の履歴を示している。斜距離の変化は滑らかな曲線上にあるが、水平角と高低角の変化はかなりのばらつきが認められる。このばらつきは測定誤差によるものと考えられるので距離に関しては実測値を用い、角度に関しては次のような誤差関数で回帰し（図-2）、座標の算出に用いた。

$$Y = Y_a(2/\sqrt{\pi}) \int_0^t \exp(-t^2) dt + Y_0$$

ただし、 Y_a : 2月4日から6日まで
の観測値の平均を Y_{a1} 、16日から22
日までの平均を Y_{a2} とした時の $(Y_{a2}-$
 $Y_{a1})/2$ で、観測値の変動幅を表す。
 Y_0 : $(Y_{a1}+Y_{a2})/2$ で、観測値の平均。
 t : 2月12日12:00を0とし、7日の単位は1.5。

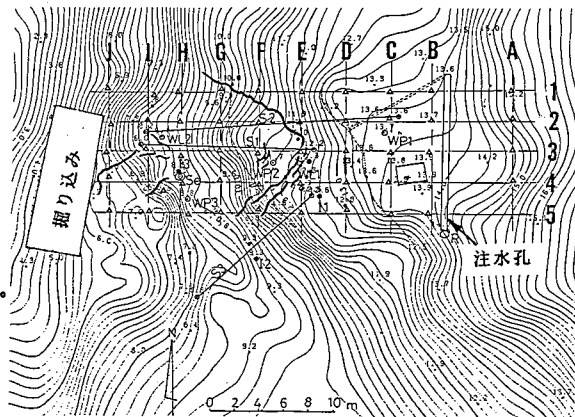


図-1 試験地の地形と移動杭の配置

4. 考察

4. 1 移動速度の経時変化

図-3に地点別の変位速度の経時変化を示した。Y軸方向の移動量を経過時間で割って1時間あたりの変位速度をmm単位で表している。2月11日から12日にかけて最大の移動が観測されたことが挙げられる。動きはそれをピークにほぼ左右対称である。全体を眺めてみると変位の大きさの違いは各点で指摘できるものの、ヒストグラムの形状に大差はないように見える。ただし、I3地点での20日前後の動きは特殊である。後に述べるがI3、J3、J4は全体の土塊の移動とは独立した動きがみられることを指摘しておきたい。2月15日には掘り込んだ溝を埋め戻すという作業が行なわれた。期間中、水の供給は続いている。間隙水圧及び水位は注水開始後(2月2日)ほぼ1日で上昇し、その後は定常に近い状態であった。このことから土体に加えられた応力はほぼ一定であったとみてよいであろう。そこで、2月15日の溝の埋め戻しの時点では歪はすでにピークを過ぎて或一定値に近づきつつあったと判断される。このような一連の動きをクリープ現象とみることができよう。15日以降、歪はそれまでの傾向よりさらに強く押えられたとも見られ、埋め戻しの効果を示している。

4. 2 移動の空間分布

a. y-z平面上での移動の様子

図-4にはy-z平面上での測点の軌跡を示した。図の左方がY軸の負の方向即ち、西の方向で、図の下方がZ軸の負の方向即ち、鉛直下向きの方向である。まず、目に着くことは、1行(G1~J1)と、2行において、図の右から左即ち、斜面の上部から下部に向って移動の鉛直成分が移動量に比して少なくなっていること、言換えると、移動の方向が次第に上向きになっていることである。同様のことが3行のF3からH3の間に、4行のF4からI4の間に認められる。

ここでもI3、J3、J4が、斜面の下方面であるにもかかわらず移動の鉛直成分が大きいこと、移動量が大きいことなど特殊な動きをしていることが頷ける。

b. x-y平面上での移動の様子

図-5にx-y平面上での移動の軌跡を示した。E3地点が移動土塊の最上端でありここから下方に(西側に)馬蹄形にクラックが生じた。クラックが斜面の途中で消えていたので(図-1参照)土塊の下端部での動きは現地では把握できなかったがこの図によりその様子を明瞭に捉えることができる。なお、J2は測定途中で地盤の崩落とともに失われた。

図の下方が西、左方が北である。土体はほぼ西に向って移動し、多少北に向う成分も認められる。全体のそのような動きに比してG4、H4、J4、I3、J3は北に向う成分がないかあるいは、南に向う成分が認められ、特殊である。移動の中心線は2列(F2~J2)にあったようだが、1列、3列とも移動量は少なくない。また、I1の移動の大きさに比して、J1の移動は極めて小さくこの2点間には相当大きな圧縮応力が働いていたと考えられる。一方、I4の移動に比してJ4の移動は大きく、両測点間には引張応力が働いたと考えられる。それを証拠付けるように両者の間にクラックが確認されている。同じことがI3とH3との間にも言える。このことからI3、J3、J4は全体の移動とは独立した別の動きと考えられる。

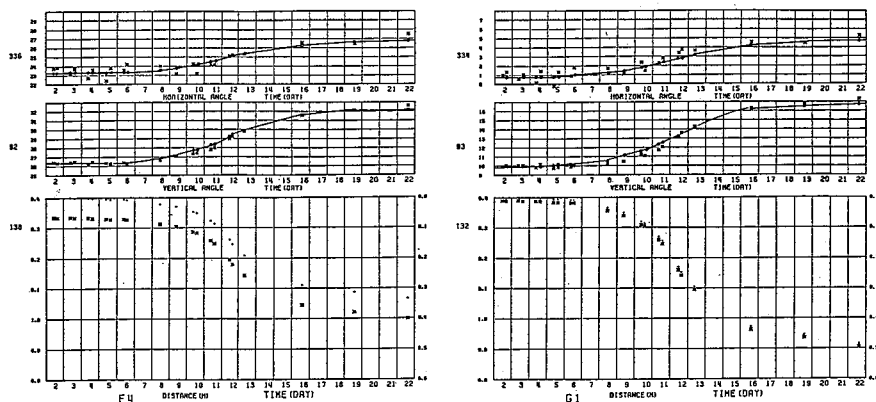


図-2 測量成果と誤差関数による測定角経時変動の回帰
 注) 斜距離の変動は清らかであるから回帰は行わない。

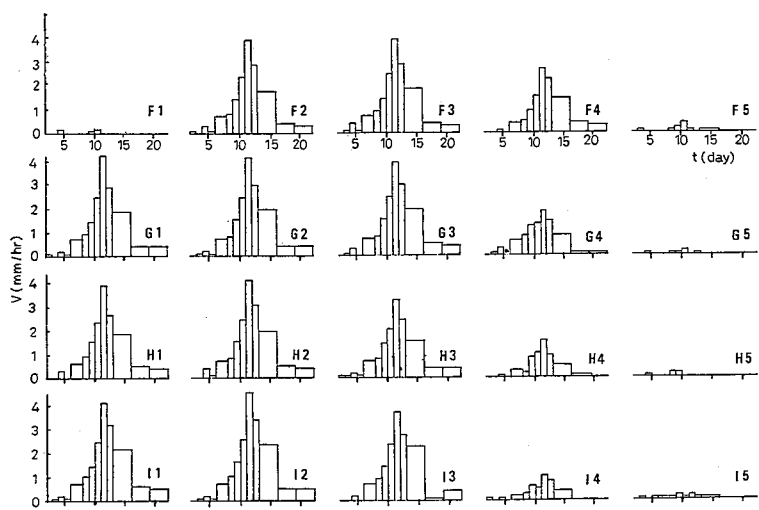


図-3 地表の変位速度の経時変化

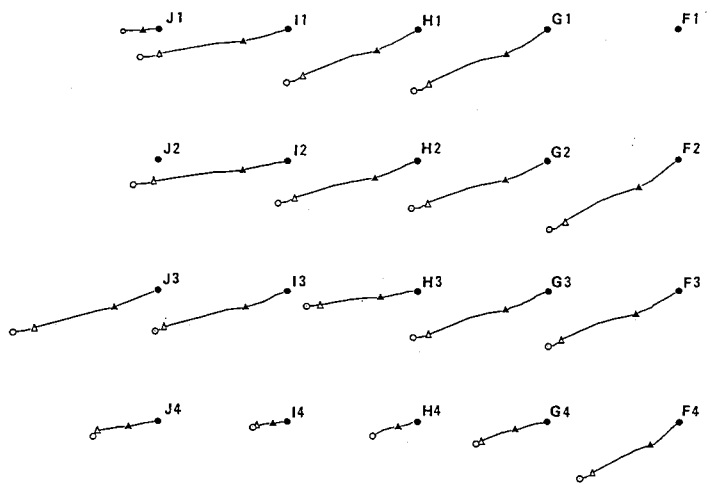


図-4 y-z 平面上での軌跡 0 50 cm

4.3 滑り面の推定

y-z 平面上の移動の軌跡から判断して、ある程度の仮定の許に滑り面を想定することもできそうに思われた。そこで仮定を次のようにおく。

1. 変位の形態は剪断歪である。
2. 不動の土塊の上に変形を受ける土塊が載っている。
3. 或時刻において変形を受ける土体の各点で剪断歪 γ は一定である。

溝の埋め戻し前の、平均としての変位量を、2月2日から12日の午前の測定までの移動量としてベクトルで表したものが図-6である。傾斜計による観測からH3附近では深さ4mを境に不動の土塊と剪断変形を行なう土塊とが区別できる。地表面の変位を示すベクトル（そのノルムは216mmであった。）に直交するように垂線の足を下ろし、地表から4mに達するとその足の長さが4.104mであった。そこで剪断歪は次のように求まる。

$$\gamma = 0.216 / 4.104 = 0.0526$$

$$\theta = \arctan \gamma = 3^{\circ} 00' 40'' \approx 3^{\circ}$$

上述の仮定に従い、同じ剪断歪を持つように移動土塊の深さを求めることができる。そのようにして移動土塊と不動土塊の界面を求めたのが図-6である。E1からJ1までの界面とE2からJ2までの界面はごく自然に結ばれている。E3からH3までの界面とI3からJ3をとって溝の下端に出る界面とは滑らかに繋がる。同じようにF4からI4に至る界面とJ4がとおる界面とも滑らかに繋がる。これは、今までにx-y平面上での軌跡や、y-z平面上での軌跡あるいは変位速度の経時変化でも述べたように、I3、J3、J4は独立した動きを示していることの裏付けともいえる。即ち、これらは斜面下方で生じた小規模ではあるが相対的に変位速度の大きな動きである。

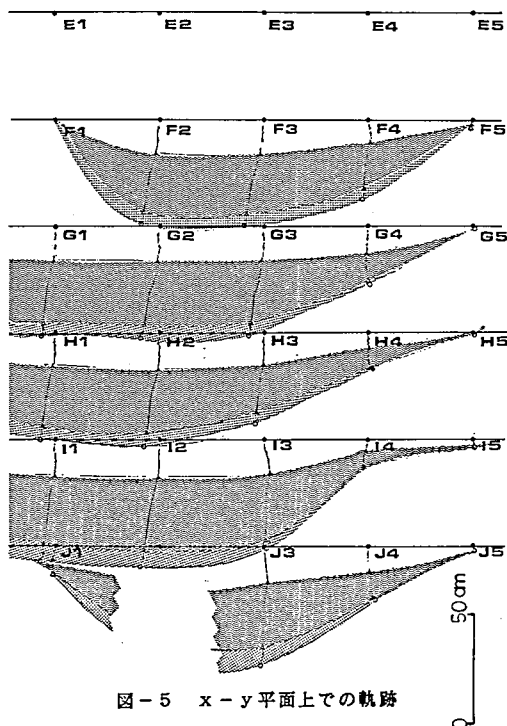


図-5 x-y平面上での軌跡

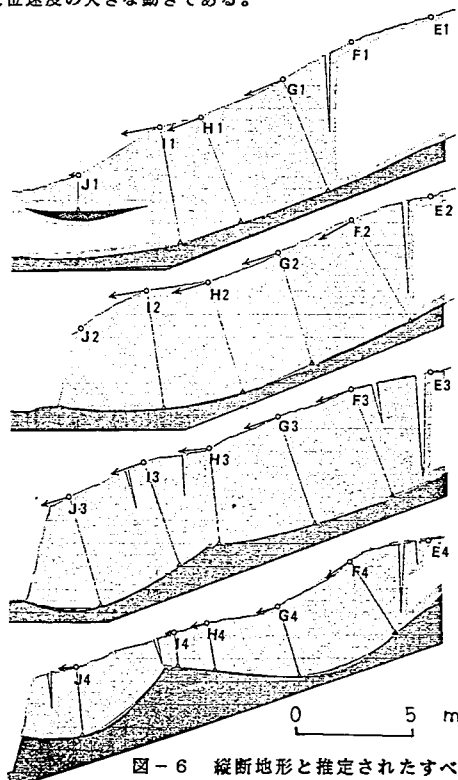


図-6 縦断地形と推定されたすべり面