

芸予地震による地すべり地の地中変位 - 愛媛県内の事例 -

Underground displacement of the landslide by the Geiyo earthquake
- The example in Ehime -

菅 秀哉 , 村上 雄治 , 大川 義明 (株式会社ナイバ)

Shuya KAN, Yuji MURAKAMI, Yoshiaki OKAWA (Naiba, Inc.)

キーワード：地すべり，地震，孔内傾斜計，地中変位

Keywords: Landslide, Earthquake, Borehole inclinometer, Underground displacement

1. はじめに

今日まで地震は降雨と並び斜面災害発生の誘因の一つとして重視されてきたが，地震による斜面災害の大半は，落石や崩壊，盛土の変形といったもので，地すべり被害の報告は非常に少なく，徐動性の地すべりに至っては，背後に多くの地すべり地帯を控えた1964年の新潟地震においても発生が知られていない¹⁾。

しかし，1995年の兵庫県南部地震では，高速で移動する地すべりや緩慢で継続的な地すべりの発生が報告されている²⁾。

また，2001年3月24日に発生した芸予地震においても，落石や崩壊などの斜面災害が各地で報告されているが³⁾，地震発生前より各種調査を実施している地すべり地では，地震以降も地すべり変位速度の増大が継続しているところも多くみられる。

なお，芸予地震では中四国地方の広い範囲にわたり激しい揺れが観測され，愛媛県内でも震度5強～震度4が観測された(図-1)。

本稿では地すべり地に設置されている孔内傾斜観測孔の観測結果をまとめ，地震前および地震後の地中変位状況を報告する。

2. 観測箇所

愛媛県内各地の地すべり地(図-1; A~E)では，地震発生前より孔内傾斜観測が実施されており，地震前から地震後の現在までの地すべり地の地中変位状況を把握することができた。

発生日時：2001年3月24日15時28分
震源位置：安芸灘 北緯 34.1° 東経 132.7°
震源深度：51km
マグニチュード：6.7

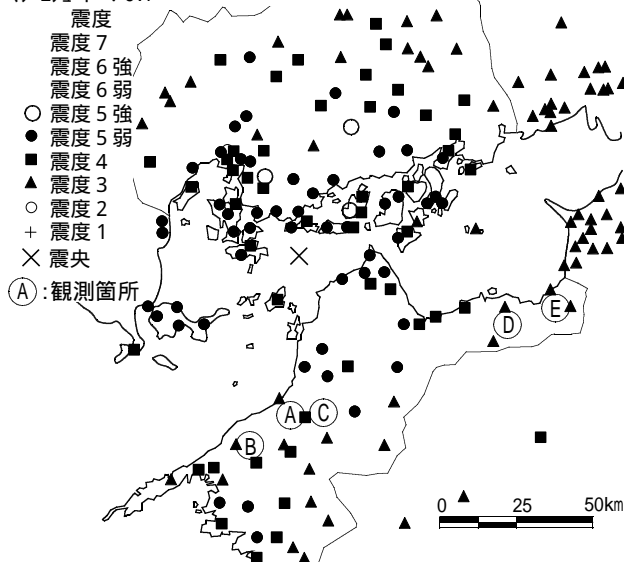


図-1 芸予地震震度分布および観測位置

なかでも，震度4を記録した中予地方のある地すべり地では，種々の地中変位の形態を認めることができ，一部の地すべりブロックは，地震発生後約1年以上経過した今日でも変位速度の増大傾向が継続している。

3. すべり面変位と地震による変位

孔内傾斜観測により「深度・水平変位量曲線」に明瞭な屈曲が認められ，その水平変位に累積性が認められた深度を「すべり面」とした。このすべり面を挟む上下2点間の変位を「すべり

面変位」と呼ぶ(図-2)。すべり面変位は、表層のクリープ変位等を除いたすべり面(すべり区間)の「変位量」を示しており、継続観測を行うことで「変位速度」を求めることができる。今回注目した孔内傾斜観測孔では図-2に示す様なすべり面が異なる深度で2箇所観測される場合が多く、浅いすべり面と深いすべり面が同一断面上に存在している(図-3)。

芸予地震では、ほとんどの孔内傾斜観測孔において活動中および停止状態にあるすべり面で数mm～数cm程度の変位が認められている。すべり面の深度が浅いほど地震によるすべり面変位量の増大が顕著に現れ、深度が深いすべり面では地震による変位がみられないものも多かった。

また、これまでの観測ですべり面変位が認められていない地表付近においても土塊の変形が発生しており、特に急斜面部に設けた孔内傾斜観測孔(A11-2, A11-11など)では、浅いすべ

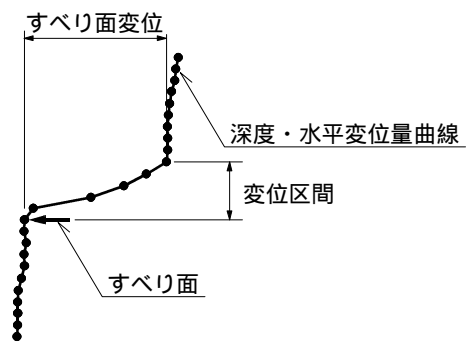


図-2 すべり面変位の概念図

り面より上部の表層部数mで明瞭なクリープ的変形が観測されている(図-3)。この種の変形は過去の観測中には出現しなかった変形であり、地震によってすべり面とは別の表層部が変形したことを示している。

したがって、地震による変位深度は必ずしもすべり面深度に一致するとは限らず、より浅い深度での変位が大きかったことが特徴である。また、地震前より確認されているすべり面変位

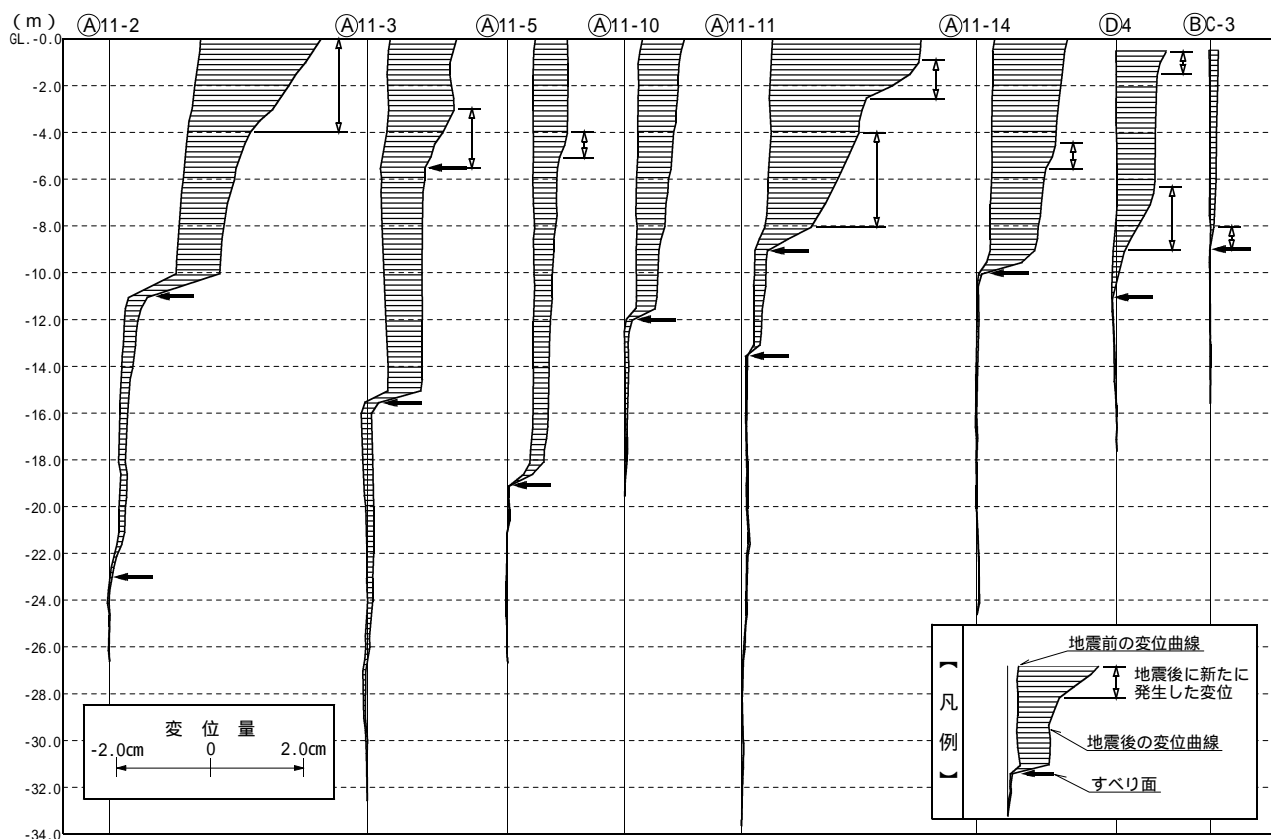


図-3 地震前および地震時の孔内傾斜計深度・水平変位曲線

は年間を通じて常時継続的に進行しているが（図-4）、より浅い深度でのクリープ的な変位は、その後の観測で累積性はほとんど認められない。

4. すべり面の変位速度

すべり面の変位速度を地震前と地震後で比較した場合、多くの観測孔では地震発生と同時に短時間で一時的に変位速度が増大し、再び地震前の変位速度に戻っているが、「地震後の変位速度増大が長期にわたって継続しているもの」や「地震後の変位速度増大がみられないもの」も認められる（図-4）。

このように様々な形態で観測されたすべり面変位は、6つのパターンに区分することができる（図-5）。なかでも、図-5の種別に区分されるE地点は、地震前に施工された抑止工（アンカー工）によりすべり面変位が完全停止しており、地震時のみ約2mmのすべり面変位がみられ、その後も停止状態を保っている。この地震時に認められる一時的な変位は、同地区内に設置された伸縮計の記録によると30分以内の現象であった。また、C地点内の抑止杭工が施工されている箇所では、地震による一時的な変位も認められず完全停止状態を保っており、対策工が未施工である箇所ではすべり面変位速度が増大している。

A～Eの各地すべり地では孔内傾斜観測と同時に地下水位観測孔を設けて孔内水位観測を実施している。図-4に示すA8-2孔の孔内水位では地震直後に約4mの水位上昇が確認され、水位は次第に回復する傾向にあるものの約1年経過した現在でも地震前までは回復していない。しかし、他の観測孔では地震による孔内水位の上昇は認められなかった。また、同孔におけるGL.-6.5～8.5mのすべり面変位速度は、地震時に急激に増大し、その後徐々に減速している。地震発生後1年経過した現在では、地震前に近い変位速度にまで減速している。

このようにすべり面変位量曲線と孔内水位変

化曲線には、相関性が認められる。このことから、地震によるすべり面変位速度増大の要因の一つとして、地すべり地内における地下水位変化が考えられ、このような地下水位変化は、地震により地下水流動経路が変化したため生じたものと推定される。

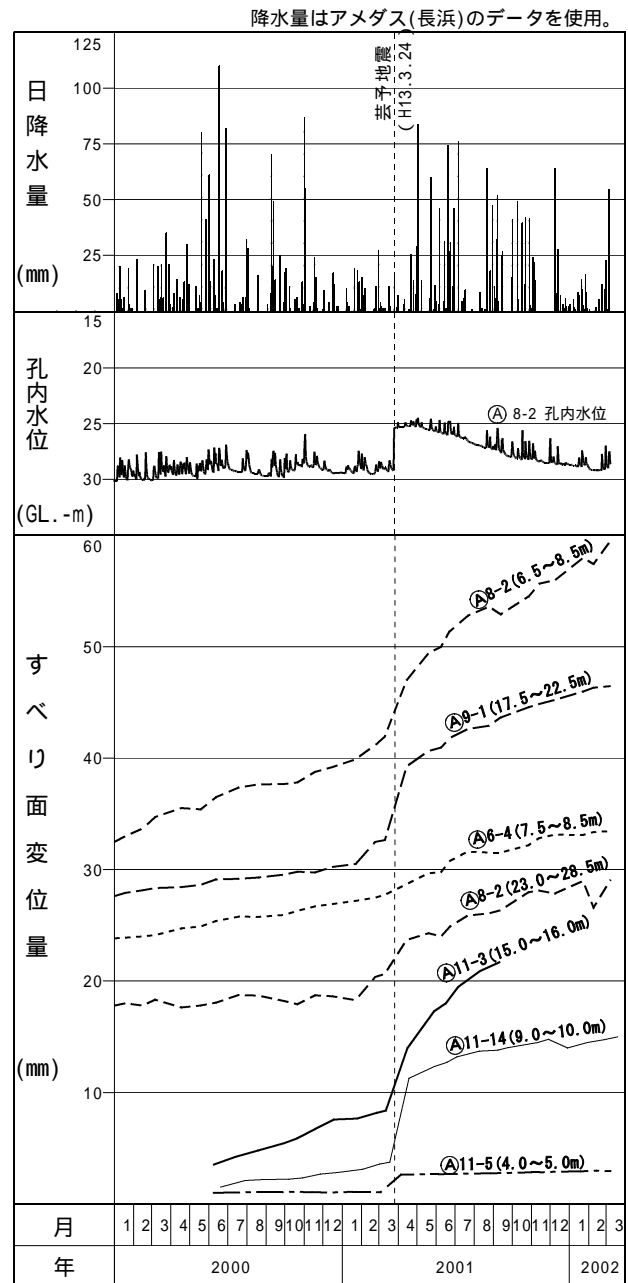


図-4 孔内水位及び水平変位量変化図

種別	変位パターン	変位の特徴	すべり面変位パターン区分
①	<p>水平変位 芸予地震 0 時間</p>	地震発生前には変位が認められておらず、地震により瞬間的な変位が生ずるものの、地震後の変位の継続は認められない。	A 11-5(4.0 ~ 5.0m) B C-3(8.0 ~ 9.0m) D 4 (9.0 ~ 11.0m) C E 抑止工施工箇所
②	<p>水平変位 芸予地震 0 時間</p>	地震発生前には変位が認められておらず、地震により瞬間的な変位が生じ、地震後に変位の継続が認められるようになる。	A 8-2(23.0 ~ 28.5m)
③	<p>水平変位 芸予地震 0 時間</p>	地震発生前から変位が認められており、地震時に瞬間的な変位が生じ、地震後は地震前と同様な変位速度で変位する。	A 11-14(9.0 ~ 10.0m)
④	<p>水平変位 芸予地震 0 時間</p>	地震発生前から変位が認められており、地震時に瞬間的な変位が生じ、地震後は地震前に比べ変位速度が増大した状態が維持される。	A 9-1(17.5 ~ 22.5m) A 11-3(15.0 ~ 16.0m) C 抑止工未施工箇所
⑤	<p>水平変位 芸予地震 0 時間</p>	地震発生前から変位が認められており、地震時に瞬間的な変位が生じ、地震後は一時的に変位速度が増大するが、徐々に収束する。	A 8-2(6.5 ~ 8.5m)
⑥	<p>水平変位 芸予地震 0 時間</p>	地震発生前から変位が認められており、地震時に瞬間的な変位は生じず、地震後も地震前と同様な変位速度で変位を続ける。	A 6-4(7.5 ~ 8.5m)

図-5 地震前後でのすべり面変位の変位パターン

5. あとがき

本稿では芸予地震による地すべり地の地中変位について、愛媛県内の震度4を記録した地すべり地の観測資料を用いたが、県外の震度3を記録した地域でも多くの地すべり地で地中変位が認められている。少なくとも震度4～震度3程度の地震により、一時的あるいは相当の継続期間を持って地すべり土塊の移動速度が増大することが明らかとなった。また、地震前に停止状態にあったものが地震時に移動し、その後この移動が継続的になったものも認められた。既に抑止工を施工している箇所については、地震時に一時的な変位がみられたものもあるが、地震後にすべり面変位が継続されず完全停止した状態を保っている。

今回は、地震が年間を通して降雨が少ない時期に発生した事例である。梅雨や台風等の降雨が多くみられる時期に芸予地震級の地震が発生した場合、今回得られた結果より地すべり変位

がさらに大きいものとなる可能性も考えらる。よって、地震発生後一定期間は地すべり地の監視を強化し、挙動観測に注目する必要があると考える。

参考文献

- 1) 古谷尊彦(1996): ランドスライド - 地すべり災害の諸相 -, 古今書院, p.49-58
- 2) 釜井俊孝, 鈴木清文, 磯部一洋(1995): 兵庫南部地震による都市地域の斜面変動 - 人工地形改変に伴う都市型斜面災害 -, 「阪神大震災」中間報告会 - 人工改変と地震災害 - 予稿集, p.112-118
- 3) 矢田部龍一, 八木則男, 横田公忠, 須賀幸一(2002): 地震時の斜面崩壊・落石, 愛媛大学芸予地震学術調査団最終報告, p.54-71, 愛媛大学