

年間数 mm 程度の緩慢な斜面変動に対する安定性評価における課題

電力中央研究所 正会員 ○ 小早川博亮

久野春彦

1. はじめに

重要構造物の周辺斜面において、斜面の滑動によって考えられる変位が地表や構造物に認められることがある。このような斜面の変動に対しては、斜面の維持管理の段階に応じた対応がなされることが通常である。維持管理においては、日常の点検に加え、挙動を定量的に把握するために伸縮計による地表面変位の計測や、孔内傾斜計による地山深部の計測が行われることもある。計測が実施された場合には、得られた変動の速度や方向の結果に基づき、対策工の検討や、継続的な計測の実施などの判断がなされる。この時の管理基準値としては、道路や鉄道等の構造物に応じて設定されており¹⁾、その一例を表-1に示す。「点検・要注意」や「対策工の検討」に対応する変位、あるいはそれ以上の値が計測されている場合には対応がなされるものの、「点検・要注意」に満たない変位の場合には、計測による監視を継続するか中止するかの判断が必要である。

この場合の判断方法の一つとして、斎藤の方法³⁾がある。斎藤は、斜面のひずみを経時的に測定することにより、ひずみ速度から崩壊時刻を予測する方法を提案しており、種々の実斜面において検証している。この方法は、地表面での伸縮計による計測結果に基づいていることから、地表に亀裂や変位が生じている斜面の変動の場合には適用可能と考えられる。しかし、孔内傾斜計などの地山深部の計測結果に対してそのまま適用して良いかについての検討は十分なされていないと言え難い。

そこで、本報告では孔内傾斜計によって計測された深部の変位に対し、上記のひずみ速度による崩壊時刻の評価への適用方法を示したうえで、実際の斜面において計測された年間数 mm 程度の緩慢な斜面変動に対し適用した結果とその課題について述べる。

2. 孔内傾斜計で計測された変位による軸ひずみの算定方法

斎藤³⁾によるひずみ速度とクリープ崩壊時間の関係を図-1に示す。図中の室内実験の結果は軸ひずみを対象としており、また、現地での観測結果に関しても地表面での伸縮計の計測結果に基づいて算定している。すなわち、伸縮計の長さを L 、伸び量を Δl とした場合に、ひずみを $\Delta l/L$ として算定するものであり、これも軸ひずみとして考えることができる。

一方、孔内傾斜計による計測では、計測間隔 L (50cm あるいは 1m の場合が多い) の変位として計測されている。この時、図-2に示すように、近接する2点の変位をそれぞれ u_1, u_2 、これらによってあらわされるひずみを $\gamma = (u_1 - u_2)/L$ とし、また、2点の間に角度 α のすべり面が存在し、すべり面と平行方向に移動すると仮定すれば、最大せん断ひずみ $\gamma_{\max}$ は(1)式であらわされる。

$$\gamma_{\max} = \frac{u'_1 - u'_2}{L'} = \frac{u_1 - u_2}{L} \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha} = \frac{\gamma}{\cos^2 \alpha} \quad (1)$$

$\gamma_{\max}/2 = (\epsilon_1 - \epsilon_3)/2$ であるので、等方弾性体と仮定 (ポアソン比 ν) すれば、 $\gamma_{\max}$ と ϵ_1 の関係は(2)式で表される。

表-1 斜面計測値の管理基準の例²⁾

(a) 地すべり変動判定基準(最小値)

計測機器	定量的な判断基準	定性的な判断基準
伸縮計	0.5mm / 日	①観測値に経時的な累積がある。
地中伸縮計	0.5mm / 日	②複数の計測器で同様な傾向を示す。
光波測距儀	固定式 5mm / 回 移動式 10mm / 回	③降雨・融雪量に連動した累積変位が見られる。
地盤傾斜計	10秒 / 7日	④観測によりすべり面が確認される。
パイプひずみ計	50~100 μ / 7日	
地中傾斜計	1mm / 10m / 回	

(b) 維持管理段階の管理基準値

計器区分と計測器	対応区分	点検・要注意 または観測強化	対策の検討	警戒・応急対策	嚴重警戒 一時退避
伸縮計					
地中伸縮計	地表面の変位速度	10mm以上 /30日	5~50mm以上 /5日	10~100mm以上 /日	10mm以上 /日
光波測距儀					
挿入型地中傾斜計	すべり面付近の変位速度	1mm以上 /10日	5~50mm以上 /5日		
地盤傾斜計	累積値	10~50秒/10日			

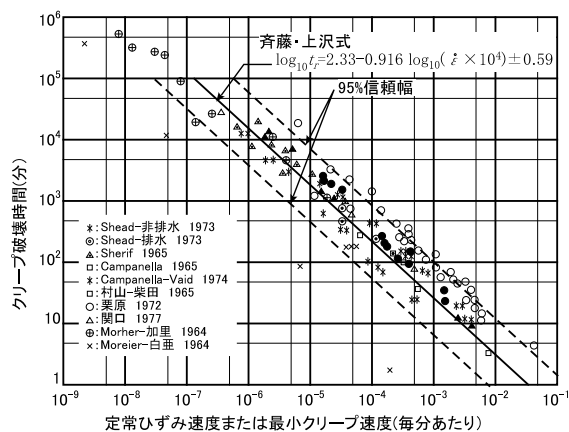


図-1 ひずみ速度とクリープ破壊時間との関係

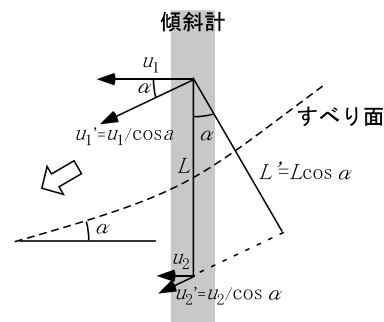


図-2 孔内傾斜計による変位とすべり面の関係

$$\gamma_{\max} = (1 + \nu)\epsilon_1 \quad (2)$$

これに(1)式を代入することにより、傾斜計で計測された変位によるひずみ軸ひずみを算定することができる。

$$\epsilon_1 = \frac{1}{1 + \nu} \cdot \frac{\gamma}{\cos^2 \alpha} \quad (3)$$

3. 実斜面での計測結果への適用

前述の算定方法を実際の斜面に設置された孔内傾斜計による計測結果に適用する。対象とした斜面は四万十帯に属する堆積岩類で構成されており、地すべりによると考えられる変状が認められている箇所である。

図-3に計測された累積変位図を示す。図より、表層の深度6m付近と深部の20mおよび32m付近で累積的な変位が認められており、この付近に地すべり面が存在している可能性が考えられた。これらの内、特に32m付近での変位の累積が顕著であるため、累積変位の大きい32.5mとその周辺の変位の時間変化を図-4に示す。図より32.5mで変位の累積が大きいものの、その累積変位量は、2001年までは5年間で5mmで、速度にすれば1mm/年であり、また、変位速度が変化している2001年以降についても、3mm/年程度であることが分かる。この変位速度は、表-1に示す挿入型地中傾斜計の管理基準に基づけば、「点検・要注意または観測強化」に至らない変位である。

この累積変位に対し、式(3)で示した軸ひずみを求めることを考える。別途調査された結果に基づく、対象深度付近でのすべり面の角度は約20度であった。また、対象とする深度付近には明確なすべり粘土などが認められなかったことから、地盤のポアソン比を0.3と仮定する。各々を式(3)に代入すれば、軸ひずみは $\epsilon = 0.87\gamma$ となり、孔内傾斜計から計算されるせん断ひずみの値とほとんど変わらない。

そこで、孔内傾斜計から直接計算できるせん断ひずみからせん断ひずみ速度を算定して図-5に示す。2001年の変位速度が増加した箇所を除いて、概ね 10^{-9} /分オーダーのひずみ速度で推移している。これを、図-1のひずみ速度とクリープ破壊時間の図に示されている斎藤の式に当てはめると、クリープ破壊時間は 10^5 分(1.9年)～ 10^6 分(19年)以上となる。

4. 考察

算定されたクリープ破壊時間は2つのことを示していると考えられる。一つは、当該斜面が長期的にわたって安定な状態ではないことである。崩壊時間は幅を持った値であるが、土木構造物の耐用年数を考えると決して放置しておいてよいものではない。したがって、当該箇所の斜面の監視の継続は必要である。

もう一つは、このように崩壊時間を算定することの妥当性である。今回のひずみ速度の範囲は、斎藤らの収集したデータや実際の崩壊事例のによる結果の範囲を超えている箇所に分布している。先の考え方は、斎藤らの収集したデータをひずみ速度の小さい範囲に延長できる場合に適用可能なものであるが、その妥当性について十分に議論がなされているわけではない。今回変位が認められた箇所には、明瞭なすべり粘土は認められていなかったことをふまえると、すべり面が存在しないか、あるいは粘土が形成される前に生じる斜面の緩慢な動きの可能性がある。これらの現象の解明に関しては、今後の課題である。

参考文献

- 1) 地すべり観測便覧編集委員会: 地すべり観測便覧. 社団法人 地すべり対策技術協会, 1996.
- 2) 高速道路調査会: 地すべり危険地における動態観測施工に関する研究(その3). 1988.
- 3) 斎藤迪孝, 上沢弘: 斜面崩壊時期の予知. 地すべり, Vol2, No.2, pp.7-12, 1966.

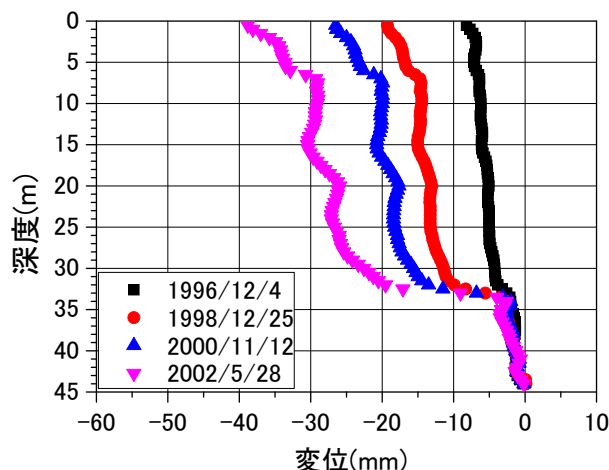


図-3 孔内傾斜計による累積変位

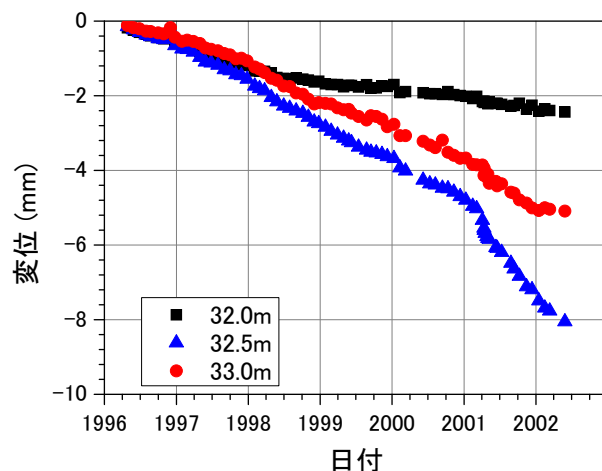


図-4 変位の累積箇所の変位の経時変化

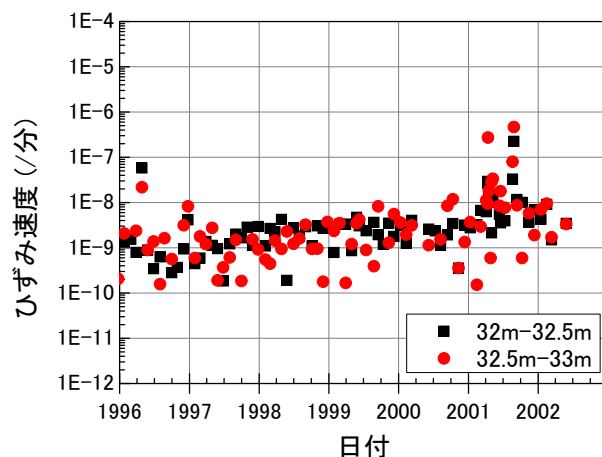


図-5 ひずみ速度の経時変化