

年間数 mm 程度の緩慢な斜面変動の安定性に関する一考察

電力中央研究所 正会員 ○ 小早川博亮 久野春彦

1. はじめに

日本のような山岳地帯においては、年間数 mm 程度の変位速度を示す地すべり地が多数存在する。電力施設などの重要構造物の周辺にこのような地すべりが存在した場合には何らかの対処が必要である。この検討に対し、たとえば斎藤の方法¹⁾によって安定性を検討する方法があるが、このような動きに対して適用することの妥当性は明らかでない²⁾。その原因には、このような動きのメカニズムが明らかになっていないことがあると考えられる。そこで、このメカニズムを明らかにすべく、新たに光ファイバ FBG センサユニットによる孔内傾斜計³⁾を開発し、年間数 mm 程度の緩慢な活動を示す斜面に設置し、1 年間の計測を実施した。本報告では、その計測結果に基づき、当該斜面の安定性について考察した結果について述べる。

2. 光ファイバ FBG センサユニットを用いた計測

(1) 計測センサの概要

計測に用いた光ファイバ FBG センサユニットの概要を図-1 に示す。FBG センサは回折格子を利用したひずみの測定方法であり、センサユニットは FBG センサを多数配置した光ファイバを塩化ビニル製中実棒(直径 60mm、長さ 4350mm)に装着することにより構築した。このセンサユニットは、従来のパイプひずみ計や孔内傾斜計と同種の計測器であり、ボーリング孔に設置して、地盤の平面的な動きをとらえる装置である。パイプひずみ計では各々のひずみゲージから計測のためのコードを延長することが必要となるが、光ファイバを用いることにより、ケーブルの本数が極度に減るため設置時の操作性がよいこと、設置後の断線などのリスクが低減されるなどのメリットがある。年間数 mm 程度の緩慢な斜面変動に対しては、地盤のどの範囲がどのように挙動しているかを把握する必要があるものの、従来の孔内傾斜計では最少計測間隔が 50cm であり、適切に状況を把握することが困難と考えられる。そこで、ここでは最少計測間隔を 10cm としたセンサユニットを用いた。また、センサユニットの長さは 4m、計測方向は 120 度ごとに区切った 3 方向である。

計測されたひずみをもとに、FBG センサユニットを弾性床上の梁のとして考えると、各深度のたわみを算定することができる。詳細については、既往文献³⁾を参照されたい。

(2) センサ設置箇所

前述のセンサを、地すべりによると考えられる変状が認められる斜面に設置した。孔井内のセンサユニットの設置深度の設定では、岩盤状況を確認することが重要であることから、コア採取率の向上及び乱れの少ないコアの採取を目的に「ポリマー剤」を添加する掘削方法を用いた。ボーリング孔の地質柱状図を図 2 に示す。地表から 9m までは崖錐堆積物及び崩積土砂が堆積し、9m で岩盤に到達する。9m よりも深部の岩盤は、四万十帯に属する堆積岩類であり、その岩相により上位から、無層理塊状の泥岩を主体とする M0、砂岩優勢砂岩泥岩互層の Ss、泥岩優勢の砂岩泥岩互層の M1、細粒塊状砂岩 S1、泥岩優勢砂岩泥岩互層の M2 に区分できる。隣接した既設孔では挿入式孔内傾斜計による計測が実施されており、深度 28m 付近の M2 層で変位の累積が認められていたことから、その箇所を計測範囲に含むように、コアの状況を確認しながら 27.95-31.85m に設置した。

対象箇所付近のボーリングコア写真を図 3 に示す。30.9m を境に、それよりも上部は系統的な面構造のないゆるんだ岩盤が存在するのに対し、30.9m 以深には、ゆるみがない新鮮な岩盤が認められる。特に、30.9m 付近には角礫が回転している様子が認められ、図 4 に示す X 線 CT スキャナによるコア中央部での断面画像においても、空隙(黒い箇所)が認められる。

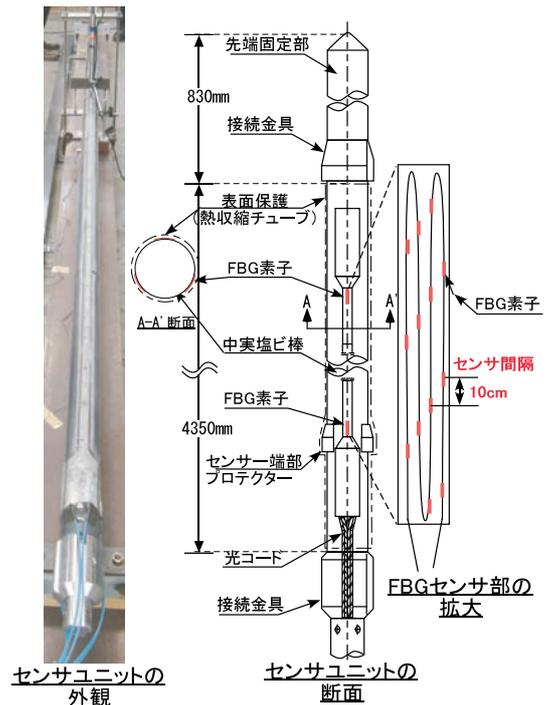


図-1 光ファイバ FBG センサユニットの概念図

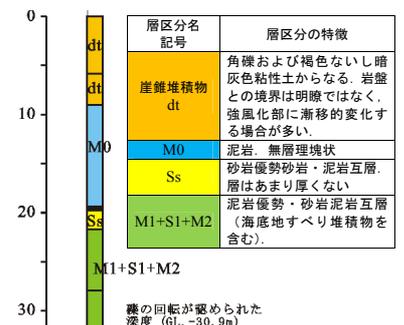


図-2 22-1 孔のボーリング柱状図

3. 計測結果

計測によって得られたひずみから、設置区間におけるたわみに換算して斜面最急勾配方向（山谷方向）とその直交方向（上下流方向）に分けて図5に示す。図より、対象区間では一様に変位が累積しているのではないことがわかる。具体的には、31.5m以深では変位の累積は認められず、その上部の30.5-31.5mで谷側・上流側への累積が顕著であり、29.2-30.5mは累積傾向が小さく、それよりも浅部はむしろ山側・下流側への変位が累積している。29.2m以浅の山方向への変位の累積は何らかの地盤の動きをとらえている可能性はあるものの、明確な理由は不明である。既往の孔内傾斜計においては、ほぼ同様の深度で4m区間が一様に傾倒する傾向が認められていたが、今回の計測の結果によると、当該区間での谷方向の倒れこみは30.5-31.5m区間に集中しており、その量は各々の方向を合成すれば、年間で8mm程度となった。

4. 考察

今回の計測により、対象区間の内の1mに変位が集中していることが明らかとなった。変位の集中箇所は30.5-31.5mであり、中間付近の30.9mには高品質なボーリングコア技術により、礫の回転が認められる箇所あることが明らかとなり、計測と整合する性状が認められたこととなる。しかしながら、近接する既往の孔内傾斜計では4m区間が一様に谷側へ傾倒する傾向が認められていた。この違いに関連して、従来の孔内傾斜計による計測では、測定管と継ぎ目（ソケット）の剛性が異なることにより、地盤の動きの箇所と異なる深度で変形が生じる場合があることを指摘している例がある⁴⁾。この事例に加え、地盤と裏込め材、さらには測定管の剛性の組み合わせによっては、測定管の継ぎ目付近に変位が集中することにより、測定管全体が一様に倒れこむような変位が生じる可能性を示唆している。従来の孔内傾斜計による計測結果はこのような測定管の変形による測定結果であると考えれば、今回の10cm間隔の計測にでとらえた動きは、同じ地山の動きによって生じたと考えても矛盾しない。

そこで、今回の測定結果がより変位区間を特定できていると考え、せん断ひずみ速度を算出し、斎藤¹⁾の方法によるクリープ崩壊時刻を算出してみる。同一深度における3つのセンサによる最大傾斜方向の曲げひずみを、サンサ区間長に対応するものとしてせん断ひずみを算出し、速度に換算したものが図6である。図より、変位が集中している30.5-31.5m付近で、ほかの深度に比べてひずみ速度が高いものの、その値は最大で 10^{-8} /分程度である。この値は従来の孔内傾斜計によるせん断ひずみ速度(約 10^{-9} /分)よりも1オーダー大きい結果であるため、崩壊時間を算定すれば、従来よりも短くなる。しかし、このひずみ速度に関しては、既報²⁾でも報告しているように(1) 斎藤の方法の既往情報がある範囲を外れていること、(2) 斎藤の方法は基本的には明確にすべり面がある斜面の挙動に対して適用されるものであり、今回は明確にはすべり面が認められない箇所での動きであることの2点から、このような動きに対する安定性評価に適用すべきでない値と考えるほうが妥当である。

このように、明確なすべり面が存在しない地山の動きに関連して、脇坂⁵⁾はその動きを特徴づける破砕岩について議論している。いわゆる初生すべりと呼ばれる地すべり移動体においては、引張り性の割れ目や無構造な角礫岩が存在することを指摘しており、今回計測器を設置した箇所においても性状の酷似した岩盤が出現している。以上より、計測対象とした斜面の動きは初生すべりによるものと考えられ、今回の計測はその活動についての挙動をとらえたと考えられる。

参考文献

- 1) 斎藤迪孝, 上沢弘: 斜面崩壊時期の予知. 地すべり, Vol.2, No.2, pp.7-12, 1966.
- 2) 小早川博亮, 久野春彦: 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. 土木学会第66回年次学術講演会講演概要集, III-309, pp. 617-618, 2011.
- 3) 小早川博亮, 久野春彦: 光ファイバFBGセンサによる地すべり斜面の計測(投稿中). 第47回地盤工学研究発表会講演集, 2012.
- 4) 石井靖雄, 藤沢和範: 孔内傾斜計設置用ガイドパイプの変形状況の現地確認と孔内傾斜計計測値の比較. 地すべり, Vol.42, No.3, pp.228-235, 2005.
- 5) 脇坂安彦, 上妻睦男, 綿谷博之, 豊口佳之: 地すべり移動体を特徴づける破砕岩-四万十帯の地すべりを例として-. 応用地質, Vol.52, No.6, pp. 231-247, 2012.



図-3 22-1 孔の対象個所のコア写真



図-4 22-1 孔の対象個所の CT 画像 (ボーリングコア中央部のスライス)

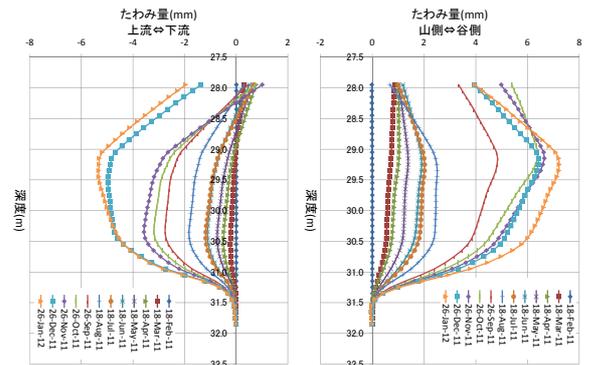


図-5 FBG センサによる傾斜変動図

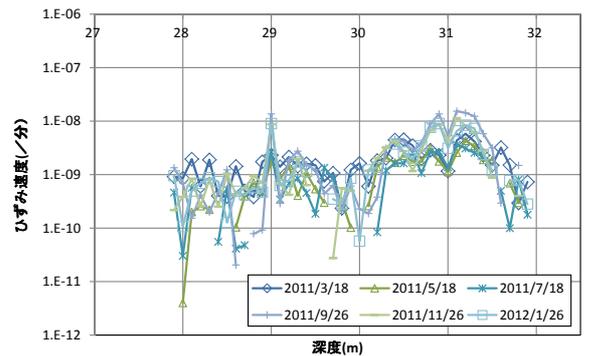


図-6 FBG センサによるひずみ速度の深度方向分布