

徳島県西井川地すべり斜面における自然電位モニタリング
Self-potential monitoring in the landslide area at Nishiikawa, Tokushima, Japan

○山崎智寛・服部克巳・寺嶋智巳

○Tomohiro Yamazaki・Katsumi Hattori・Tomomi Terajima

Landslide is one of the severe disasters triggered by rainfalls or earthquakes. This research pays an attention to the rainfall-induced landslide. So far, we are developing the landslide early warning system for using self-potential (SP) measurements. The previous our indoor experiments provide some important facts in landslide process for hydrological, geotechnical, and electromagnetic senses; (1) expansion of saturated area under the ground, (2) changes of underground water flow from vertical to lateral directions, (3) apparent soil displacement 2-30 minutes before the main landslide, (4) good agreement between saturated area and area with low SP value, and (5) appearance of transient signals 2-30 minutes before the main landslide. These facts should be validated in in-site measurements. In this paper, we first present the in-situ test system for monitoring self-potential variation induced by water. Then, we describe the self-potential tomography to monitor the groundwater condition.

1. はじめに

斜面崩壊は、降雨や地震動を主な原因として、斜面表層の土砂や岩石が地中のある面(すべり面)を境にして滑り落ちる現象で、人命や土地家屋等の財産を一瞬にして奪ってしまう可能性のある自然災害である。従来の研究では、斜面崩壊メカニズムの解明や砂防、発生後の復旧対策が主であった。このため、避難可能な時間帯にどのような前兆現象が生じているのかについて主眼が置かれることは少なく、崩壊の精密な予測と簡易な監視技術の開発にまでは至っていない。そこで、我々は、降雨による斜面崩壊に着目し、水文学的変動、地盤工学的変動と電磁気学的変動を観測することによって斜面崩壊準備過程の調査を行っている。つまり、水文学的・地盤工学的変動を遠隔監視の可能な電磁気学的手法を用いて斜面崩壊の過程を電磁気的に正確に把握し、地下水流動と斜面崩壊の関係を解明し、斜面崩壊の予測・監視に資する簡易な早期警戒システム・技術の開発に取り組んでいる。斜面崩壊予測研究の鍵は地下水の状態の把握にある。通常、斜面崩壊の監視を行うためには、斜面に地下水圧や地盤変動を計測する測器を埋設するなど、斜面内部における現象を直接観測しなければならない。これらの手法では掘削孔が必要であるなどコストが高く、地下の水理システムに影響を与える可能性があった。一方、電磁気学的手法は地表面から遠隔的に地下水動態の連続監視

が可能で、設置が容易でコストも安い。本研究は、斜面崩壊というダイナミックな物理現象の際に観測された“水(地下水)”の挙動に着目し、その電磁気的変動(自然電位)の時空間変動を受動的に正確に把握する手法を開発するというユニークな試みである。また、本研究は、崩壊発生に至るまでの斜面での水理・水文プロセスと崩壊発生の関係の解明という学術的な価値と共に、崩壊予測という土砂災害軽減のための簡易で広域適用可能な技術開発という防災的な社会ニーズにも大きく寄与することとなり社会的意義も大きいといえる。

我々は現在までに室内人工降雨斜面崩壊実験によって、斜面崩壊先駆現象として、主崩壊の30分前頃から①水分の飽和領域の形成と発達、②水流の鉛直方向(雨水浸透方向)から斜面方向への変化、③20分前からの土層変位の開始等の現象が生じ、上記①～③は電位変化として検知可能なことを確認した。しかし、実際の斜面には不均質性があると考えられ、室内実験結果がそのまま適用できるかどうか分からない。従って、実斜面による検証が重要である。また、崩壊直前の地下水流動の変化を自然電位からとらえるためには、観測された自然電位から地下水流動を推定する技術の開発も必要である。そこで本研究では、①実斜面検証のための自然電位観測システム設置し、②現在開発中の自然電位トモグラフィーを行った。

①の実斜面観測のに関しては、徳島県三好市池

田町西井川の斜面崩壊地において、比抵抗探査とボーリングによるすべり面調査を行ったところ、斜面約 3.0 m の深さですべり面らしき構造を発見した。この結果に基づき、実斜面における水文学的变化や地盤工学的変化と電磁気学的変動の比較・検証をするために、自然電位観測システム、孔内傾斜斜計、テンシオメータを設置し、観測を開始した。

次に地下水動態の可視化について述べる。自然電位発生メカニズムは、界面動電現象で説明することができ、以下の式で表すことができる。

$$\begin{aligned} \nabla \cdot (\sigma \nabla \phi) &= \mathfrak{S} \\ \mathfrak{S} &= -\nabla L \nabla h - L \nabla^2 h \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 ϕ : 電位, σ : 電気伝導度 (Sm^{-1}), h : 水理水頭 (m), L : カップリングパラメーター (A/m^2), \mathfrak{S} : 自然電位発生の全ソース [A/m^3] である。

式(1)はポアソン方程式となるため、ソース \mathfrak{S} と電位 ϕ の関係はクーロンの法則で説明することができる。したがって、電位からソースに関連した電荷分布を求めるための観測方程式は以下のようになる。

$$\mathbf{S} = \mathbf{A}\mathbf{F} + \mathbf{e} \quad (2)$$

ただし、 \mathbf{S} : 電位を表す M 次ベクトル, M : 電極数, \mathbf{A} : クーロンの法則の係数を表す $M \times K$ 行列, K : ピクセル数, \mathbf{F} : 電荷密度を表す K 次ベクトル, \mathbf{e} : 誤差を表す M 次ベクトルとする。

上式に従い、観測された自然電位から水理水頭を求めるための電荷分布を推定する。この問題は逆問題と呼ばれ、一般に $K \gg M$ (ここでは、 $K=492$, $M=16$) となるため、解は一意に定まらない。そこで、解は空間的に滑らかな分布をするという条件 (Phillips-Tikhonov 正則化法) を設定し、解を求めた。再構成した電荷分布から圧力水頭を算出したところ、間隙水圧計で観測された値と調和的であった。また、求めた水の流れ方向は、観測時に注入したトレーサーの流れる方向と大局的に一致することがわかった。これら結果から、自然電位トモグラフィーは地下水のコンディションを知るための有効な手段になりうることがわかった。

現在、自然電位トモグラフィーは室内実験のみ

に適用となっているが、今後は上述のような実斜面における応用が課題となる。

詳細は講演にて報告する。