

超音波による斜面変状監視装置

OBSERVATION OF STEEP SLOPES USING ULTRASONIC WAVE

鈴木哲也*・疋田貞良*・丹羽敏和*・船崎好助**

Tetsuya SUZUKI, Sadayosi HIKITA, Tosikazu NIWA and Kosuke HUNASAKI

Developing a prediction system for slope failures is one of the most urgent task to prevent cruel disaster caused by them. In order to fulfill it, a supersonic wave method has been introduced as one of the means to monitor slope failures. The supersonic wave monitoring apparatus is composed of a transmitter installed apart from slopes and a receiver on slopes, and can recognize slight movement by detecting change of phase difference of signals from the transmitter at two sensors in the receiver. Both model experiment and field experiment were conducted with the apparatus to confirm the performance and to improve it. The results of the experiments have suggested that the method has a good possibility to detect movement of slope failures precisely and immediately, though it is now being developed and improved.

1. まえがき

急崖斜面において発生する岩盤崩落による災害を未然に防止するための方策として、安定性の低い斜面の抽出、抽出された斜面の動態観測および評価、さらには安定性向上のための対策工事が一連の流れとしてあげられる。これらの課題を解決することにより災害を未然に防止することが出来ると考えられるが、現在の技術レベルに照らし合わせて容易なことではない。特に岩盤斜面は変位してから崩落するまでの時間も変位量も少ないため、事前にそれを予知することは至難の業となっている。このため岩盤斜面における微少な変位を正確かつ迅速に察知することが可能な計測手法の開発が望まれている。

このため斜面変状を監視するための一手段として、超音波による斜面変状監視装置の開発を行った。この装置は超音波受信器が設置されている岩盤の一部に微少な回転変位が発生すれば、その変位量が信号として検知される装置である。この装置をマクロな観測に用い、もし異常が観測されれば本格的な斜面監視体制に移行する方式に適用できると考えられる。本文では検出の原理、モデル実験および現地適用試験結果について報告する。

2. 超音波斜面観測装置

従来の超音波を使用した観測方式は、送信機からの超音波信号を受信器にて受信し、その到達時間により送受信器間の距離を測定するものであった。しかしこの方式では、超音波伝播経路での気温、風向、風速などの音速を変化させる気象条件の変動による影響を受けやすく、精度が要求される計測には不適當であった。そこで近接する超音波伝播経路では気象条件が同一であることに着目し、位相差差分方式を開発した。

* 北海道開発局開発土木研究所

** 日立製作所情報通信事業部

位相差差分方式の原理は、相互に35mmの間隔で設置した2個の超音波センサーにより送信機からの超音波を受信し、そのときの位相差を用い、位相差の差分から微小移動量を求める。すなわち岩盤斜面の微小な回転運動の結果、位相差の差分に微小な変化が生じるため、この位相差を常時観測することにより、岩盤の変動量を連続的に観測しようとするものである。

図-1に示すように、 f は超音波の周波数、 L および $L + \Delta L$ は送信機からセンサー1およびセンサー2までの超音波の伝播経路、 $C1$ および $C2$ は L および $L + \Delta L$ 経路における伝播速度とすると、両センサー間の位相差 ϕ は、次式で表すことが出来る。

$$\phi = 2\pi f \left(\frac{L + \Delta L}{C2} - \frac{L}{C1} \right)$$

近接する超音波伝播経路の気象条件は同一と仮定すれば、近接する超音波の速度は等しく、 $C1 = C2 = C$ となる。また $\Delta L = D \sin \theta$ である（ D ：両センサー間の距離、 θ ：送受信器間の仰角）ことから、上述の式は、次の通り整理できる。

$$\phi = 2\pi f \cdot D \cdot \sin \theta / C$$

このことから受信器の微小回転変位は、次式で表すことが出来る。

$$\Delta \theta = \frac{C \cdot \Delta \phi}{2\pi f \cdot D \cdot \cos \theta}$$

したがって岩盤に受信器を固定することにより、受信器の変位すなわち岩盤の変位として観測可能である。

3. モデル実験

超音波斜面観測装置の岩盤斜面への適用性を確認するために、モデル実験を行った。図-2に示したように、EPSブロック（1m×2m×0.5m）3個を積み上げ、模擬岩盤としてモデル化した。あらかじめEPSブロック上に超音波センサーを上下方向に35mm間隔で設置し受信器とした。模擬岩盤の傾動により2個のセンサー間に位相差が発生することから、センサー間の位相差を観測することにより模擬岩盤の傾動量が計測できる。理論上はセンサー間の位相差80度は、模擬岩盤の3度の傾動に相当する。模擬岩盤の変位はトップリングを想定し、前方すなわち送信機方向に転倒させた。既存の観測結果から、間欠的に変位する岩盤と継続的に変位する岩盤を想定し、転倒方法は2種類とした。

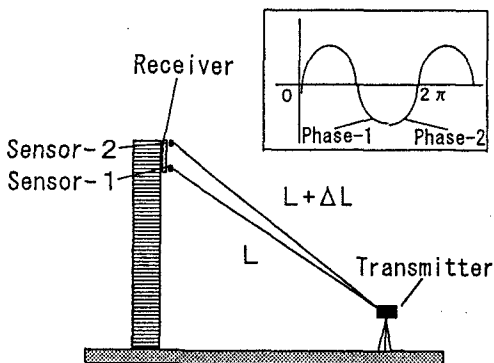


Fig. 1 Outline of the supersonic wave method to observe steep slopes

3. 1 断続的変位の観測

EPSブロックにて作成した模擬岩盤を断続的に変位させ、断続的変位の発生に対する計測器の適用性について検証した。試験は、図-2に示した模擬岩盤を断続的に3度ずつ、0度から9度まで送信器方向に3回傾斜を累積させ行った。3度の傾斜を与えた後は、約150秒の静止期間をおいた。この間超音波を継続的に発信し続け、模擬岩盤の傾動により発生する2個のセンサー間の位相差の変化を0.1秒ごとに測定した。送受信器間の水平距離は10mから開始し、その後30mまで5mずつ距離を増加させ、上述の計測を計5回繰り返し実施した。送受信器間の水平距離を10mとした時の試験結果を、図-3に示した。理論的には模擬岩盤に与えた3度の傾斜は、約80度の位相差に相当するが、図から明らかなように、理論値と試験

結果はほぼ一致している。
水平距離 10 m 時においては、この装置により模擬岩盤の微小な変位をほぼ正確に把握することが可能であるといえる。しかし水平距離 30 m 時においては、データのばらつきが増加する傾向が認められた。

3. 2 継続的変位の観測

同様の模擬岩盤を継続的に変位させ、継続的変位に対する計測器の適用性につ

いて検証した。試験は、図-2 に示した模擬岩盤を、前方に連続的に 9 度まで徐々に転倒させた。この間超音波を発信し続け、2 個のセンサー間に発生する位相差の変化を、0.1 秒ごとに測定した。送受信器間の水平距離は 10 m および 15 m の 2 種類を設定して、試験を実施した。水平距離を 10 m としたときの試験結果を、図-4 に示した。この装置は継続的に変位する対象物に対しても、良好な性能を示した。特に観測値の移動平均をとることにより、変位の傾向をより明瞭に把握することが出来る。水平距離 15 m としたときの試験結果を、図-4 に示した。水平距離 10 m の場合とほぼ同様の結果が得られ、継続的変動の観測においても、結果の再現性はよいと考えられる。

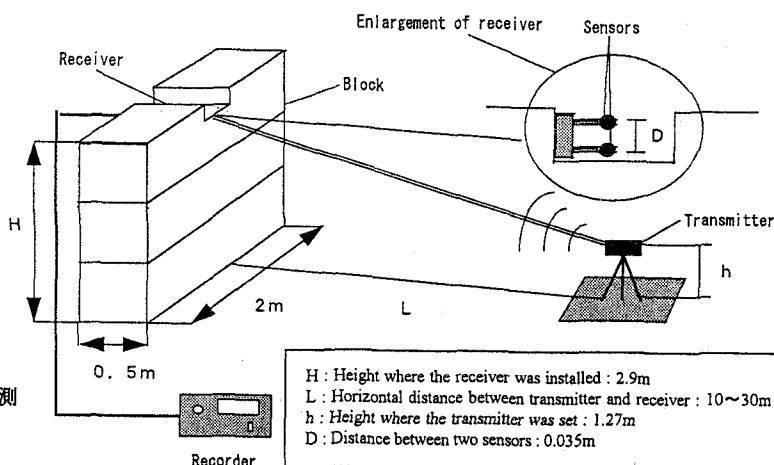


Fig. 2 Setup of model experiment

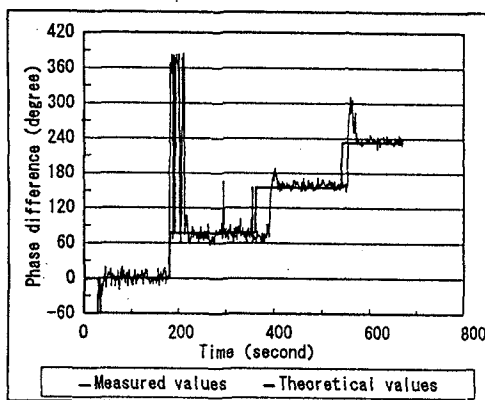


Fig. 3 Result of model experiment while L was 10 meters

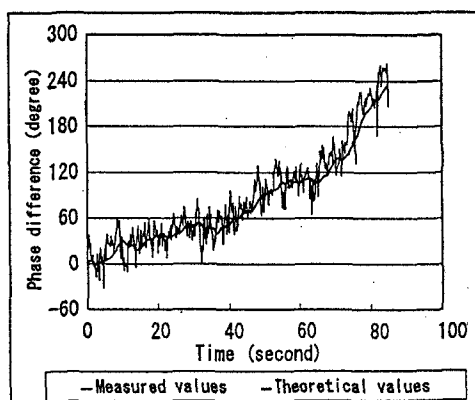


Fig. 4 Result of dynamic model experiment while L was 10 meters

4. 現地試験

北海道において計測機器は、冬期間過酷な条件にさらされる。また極めてまれではあるが、厳冬期に岩盤崩落が発生するメカニズムに関する報告もある。このため冬期間の厳しい気候条件下で急崖斜面に観測装置を設置した場合の適用性を検討する必要がある。そこで厳冬期の 1 月に日本海沿岸の積丹半島の急崖において現地試験を行った。現地は北西の強い季節風に直接さらされる場所であり、超音波を用いた計測において

原理上最も過酷な条件を設定した。観測装置を設置した場所の地形は、高さ80m、平均傾斜約80度の斜面であり、所々にオーバーハングが認められる。地質は、弱い変質を受けた新第三紀のハイアロクラスタイトである。送信機はトンネル上部に設置し、受信器は標高20mの斜面にアンカーで固定した。送信機と受信器の距離は約20mである。現地試験におけるデータのサンプリングは20秒ごととした。

現地試験結果の一部に、近傍のアメダス地点の気象データを加えて図-5に示した。この装置により得られるデータは、電圧値である。位相差と回転角の値は、電圧データから算出したものである。0.6Vの電圧の変化は、2.7度の位相差すなわち対象物の1度の回転に相当する。

測定期間中対象岩体に移動が認められないこと、また全測定期間を通して電圧データに累積傾向が認められないことから、測定データには回転角で0.5度程度の誤差は生じるものと考えられる。

測定データの確かさに対する気象条件、特に風速の影響について検討した。風速と電圧値おのこの1時間ごとの平均値を求め、両者の関係を図-6に示した。多少の変動は存在するが、風速が増すにつれて電圧値が一定方向に変化する傾向は認められず、明確な風速による影響は認められない。次に風速の平均値に対する電圧値の1時間ごとの分散の関係を図-7に示した。風速との明瞭な関係は認められず、計測データの誤差は風速の影響によるものではないと考えられる。

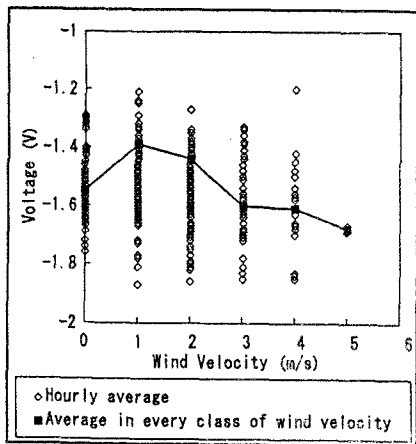


Fig. 6 Influence of wind velocity on the fluctuation of measured voltage

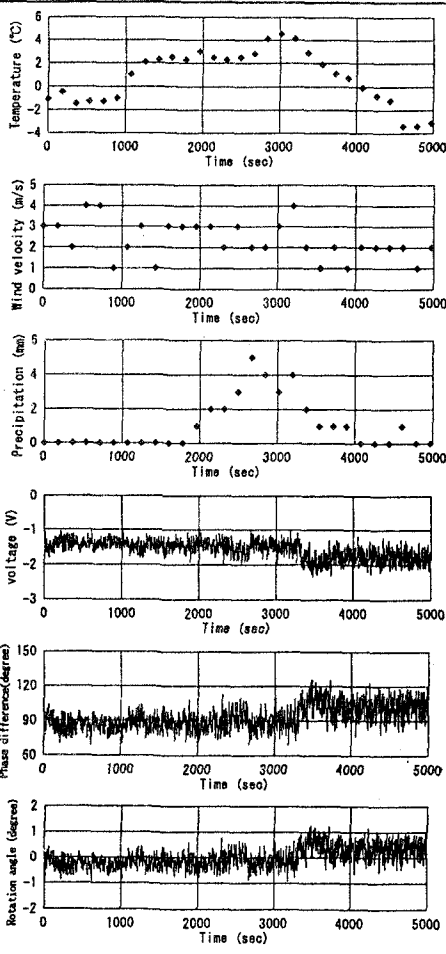


Fig. 5 A sample of data obtained by field experiment

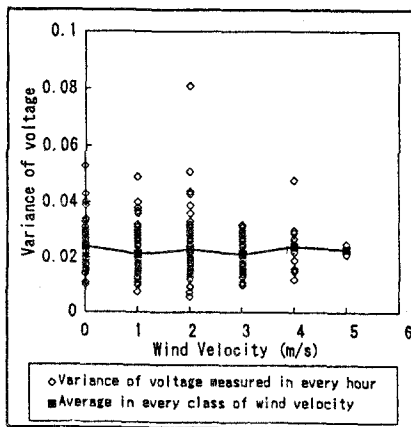


Fig. 7 Influence of wind velocity on the variation of measured voltage

このように位相差差分方式は従来の方式と異なり、音速を変化させる気象条件の変化を受けにくく、精密さを要求する計測にも使用できることが判明した。

5. おわりに

現在開発中の超音波斜面観測装置を用いて、モデル実験および現地試験を行い、その性能および現場への適用性に関する検討を行った。その結果、送受信器間の距離が比較的短い場合には、この装置により岩盤斜面の微少な回転変位を把握することが可能であることが判明した。送受信器間の距離が長い場合には、観測データにばらつきが生じる場合があるため、今後この点に関し改良を加えてゆく予定である。

参考文献

- 1) T.Suzuki et. al. : A supersonic wave method to observe steep slopes, Proc. of 8th congress of the international association for engineering geology and the environment, Vol. 3, p.1719, 1998.
- 2) 菊地宏吉, 水戸義忠 : 国道229号線豊浜トンネル上部斜面の岩盤崩落メカニズムに関する地質工学的考察, 応用地質, 第39巻, 第5号, p.456, 1998.