

地中無線通信技術を応用した変位計の開発

計測 地すべり 応急対策

坂田電機株式会社	正会員	樋口佳意
坂田電機株式会社		後藤知英
坂田電機株式会社		永江 祐
独立行政法人土木研究所		武士俊也
独立行政法人土木研究所		千田容嗣
独立行政法人土木研究所	正会員	宇都忠和

1. はじめに

応急緊急対応が求められる地すべり災害現場では、地すべり移動量などに関する客観的な計測データに基づいた判断が求められる。しかしながら、地すべり土塊が泥濁化している等、地すべり地への立入りが困難なため計測機器では設置できない、移動量が大きい地すべりの場合、地盤伸縮計ではすぐに計測不能になるという課題は依然として残されている。そこで、筆者らは、空港やフィルダムなどの埋設計器に利用されている地中無線通信技術に着目し、その通信信号強度の距離減衰特性を応用した変位計を開発した。

開発した変位計は、地盤伸縮計（地すべり計）のようにインバー線、保護管、それらの支柱などを必要とせず、インバー線の張替え等も不要となるため、応急緊急災害現場での迅速な設置ができ、土砂に埋没しても計測を続けることができる特長を持つ。今回開発した変位計に対して各種の性能実験を行ったところ、概ね良好な結果が得られたので報告する。

2. 地中無線通信技術

地中無線通信技術は、土中、岩盤中、水中、空気中でデジタル無線伝送が可能な通信技術である。地中無線通信技術を用いた通信システムは、埋立て工事やフィルダムなどでセンサをワイヤレス化する技術として用いられている¹⁾。一般の無線通信に使用している高周波電磁波は、導電率の大きい土中、水中での通信信号強度の減衰が大きく、土中、水中での通信はできない。これに対し、低周波電磁波を使用した地中無線通信技術は信号強度の減衰が小さいため、土中、水中でも無線通信が可能である。

3. 開発した無線式変位計

開発した無線式変位計の概要図を図-1に示す。地中無線通信技術に用いている低周波電磁波の信号強度は、式(1)に示すように通信間距離 r の3乗に反比例する特性を有している。開発した無線式変位計は、この特性を利用し、信号強度の増減から通信間距離の変化を測定するセンサである。

$$E = E_0 \frac{r_0^3}{r^3} \quad (1)$$

ここで、 E ：測定点での信号強度、 E_0 ：既知の信号強度、

r_0 ：既知の距離

土中や水中でも計測できることから、オーバーハングしていてインバー線が張れないような斜面や、移動に伴ってセンサが土中に埋没するような現場での大変位の計測技術として利用が期待される。

4. 基本性能確認実験

4.1 測定値と実測値の比較実験

無線式変位計による測定値の精度を検証するため、測定値とレーザー距離計による実測値との比較実験を行った。実験は、図-2に示すようにセンサと受信アンテナ間の距離を10m、15m、20m、25mとし、各距離において±10cmを移動させて実施した。

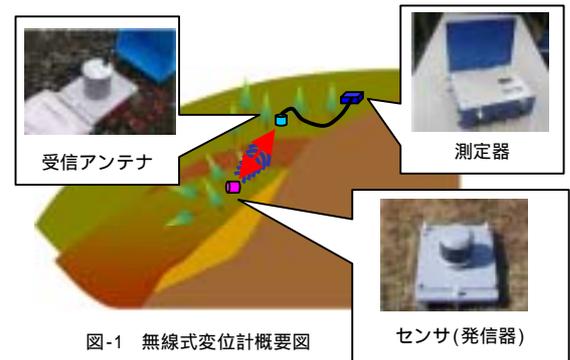


図-1 無線式変位計概要図

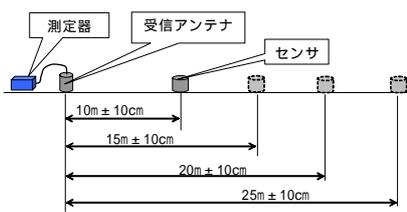


図-2 実験方法

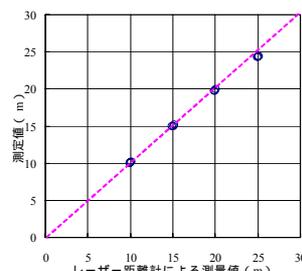


図-3 測定値と実測値の比較

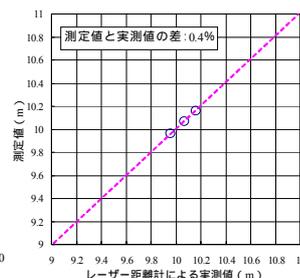


図-4 距離 10m の結果詳細

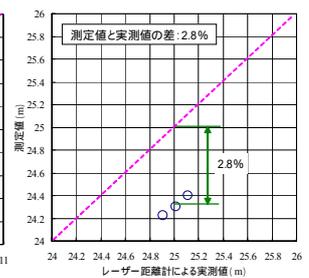


図-5 距離 25m の結果詳細

比較実験結果を図-3 に示す．本装置の目的である大変位の測定を行う上では有効な性能を有していると考えられる．測定距離が 10m と 25m の比較実験結果の詳細図を図-4, 図-5 に示す．距離の測定値と実測値の差は、20m 以下では 1.2%以下、25m では-2.8%の差が見られ、測定距離が長くなるに従い実測値に対して短く測定される傾向が見られたが、10m, 15m, 20m の距離で±10cm 移動させたときの変位は 1.5cm 以下、25m の距離で±10cm 移動させたときの変位は 2.4cm 以下の誤差で測定できている．

4. 2 覆土・冠水を伴う地すべり模擬実験

覆土・冠水を伴う地すべりを模擬して測定値の精度確認実験を行った．実験は、図-6 に示すようにセンサ位置を ~ のように順次移動させて距離を測定した．また、図-6 の の位置では覆土、冠水を模擬して距離を測定した．測定値とレーザー距離計の実測値との比較実験結果を図-7 に示す．測定値は測定距離が長くなると実測値に対して長く測定される傾向が見られた．図-8 は、図-5 との比較のために実施した測定距離を 25m にした場合の実験結果である．測定値は実際の距離より+2.2%長く測定される結果が得られ、4. 1 項の実験結果と逆の傾向であった．図-9 は覆土・冠水を模擬した測定結果である．センサが地表にある場合と、水中または土中にある場合の測定値の差は 0.1%であり、センサが冠水または覆土された条件下でも、地表に設置した場合と同等の精度で距離を測定できることを確認できた．

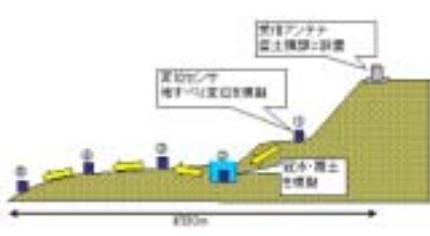


図-6 覆土・冠水実験方法

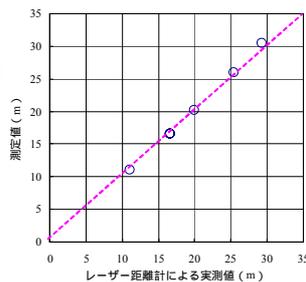


図-7 測定値と測量値の比較

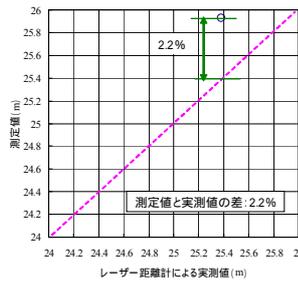


図-8 距離 25m での結果詳細

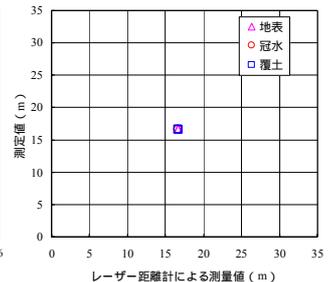


図-9 覆土・冠水時の測定結果

4. 3 測定値の安定性確認実験

無線式変位計の測定値の安定性を検証するために、センサと受信アンテナ間の測定距離を一定に保持しながら約 1 ヶ月の連続測定を行った．センサと受信アンテナ間の距離を 20m, 30m とした．連続測定結果を図-10, 図-11 に示す．それぞれの距離測定値の平均値は、測定距離 20m で+20.31m(+1.5%)、30m で 30.13m(+1%)となり、実際の距離より長く測定される結果となった．距離測定値の誤差は、周辺の電力設備などからのノイズの影響が考えられたので、信号受信レベルや測定時のノイズの状況を調査したが、明確な原因は判明できなかった．センサ周辺の金属構造物などの影響で生じた可能性があると考えている．

図-10, 図-11 において距離測定値の標準偏差 σ は、距離 20m の場合は 1.9cm、距離 30m の場合は 8cm であり、距離が長くなるとともにバラツキが大きくなった．これは、信号強度が距離に依存しており、距離が長くなると相対的にノイズの影響が大きくなるためにバラツキも大きくなる．このバラツキを低減するため、測定値にカルマンフィルタ処理を行った結果、カルマンフィルタによる推定値の標準偏差 σ は距離 20m の場合は 0.4cm、距離 30m の場合は 1.1cm となり、ノイズによる測定値のバラツキが低減できることが確認できた．

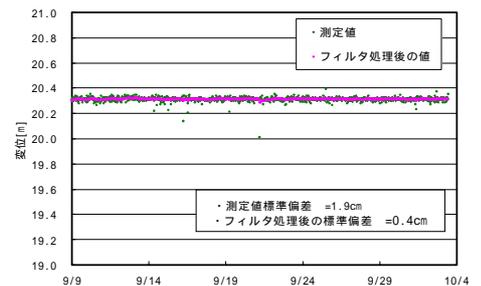


図-10 連続測定結果 (距離 20m)

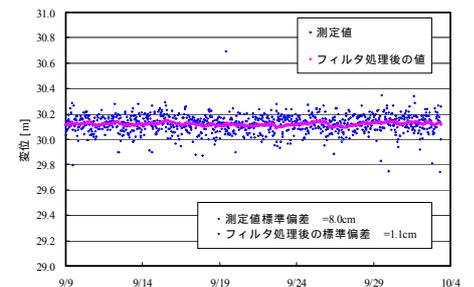


図-11 連続測定結果 (距離 30m)

5. まとめ

開発した無線式変位計の各種の基本性能確認実験を行い、以下の成果が得られた．

- (1)センサを±10cm 移動させたときの変位は測定距離 20m 以下では誤差 1.5cm 以下、25m の測定距離では誤差 2.4cm 以下で測定することができた．
- (2)測定距離が長くなるに従い測定値は、実測値に対して長く測定される場合と短く測定される場合があった．センサ周辺の金属構造物などの影響で生じた可能性があると考えている．
- (3)覆土・冠水条件下でも、地表にセンサを設置した場合と同等の精度で測定できることを確認できた．
- (4)測定値のバラツキは、カルマンフィルタ処理を行うことで低減できることを確認できた．

なお、本論は独立行政法人土木研究所の共同研究「厳しい現場条件に耐えうる地すべり観測装置の開発 (平成 19 年 ~ 21 年)」²⁾ で実施したものに考察を加えた．筆者らは、引き続き、2 現場の地すべり地で実証実験を実施している．

【参考文献】

- 1)樋口佳意・遠目塚良一：「地中無線通信システム」を用いた地盤の無線調査技術，地盤工学会誌，第 58 巻，第 8 号，pp.22-25，2010
- 2)(独)土木研究所、坂田電機(株)、他：「厳しい条件下での使用に耐えうる地すべり観測装置の開発」、共同研究報告書 2009.6