

重力加速度計を用いたパイプ傾斜計の開発と実用性の検証

明治コンサルタント(株) 正会員○納谷 宏, 林田 昇, (株)坂本電機製作所 國友 建
山口大学大学院創成科学研究科 正会員 中島伸一郎, 正会員 清水則一

1. はじめに

地すべりの地中変位を計測する手法として、一般に用いられる手法は、挿入型孔内傾斜計とパイプひずみ計である。挿入型孔内傾斜計は、プローブを孔内に挿入し手動で上下させる方式のため、短いインターバルでの計測や自動計測には向いていない。また、構造上地下水位の測定は別孔にて実施することが一般的である。一方、パイプひずみ計は、ひずみ量と変位量とは線形関係が成り立たないことから、パイプの変形量(たわみ量)を直接的に算定することはできない¹⁾ため、定量的な地中変位量を求める用途には向いていない。しかし、パイプひずみ計は、孔あけ加工された塩化ビニルパイプ側面にひずみゲージを貼り付けた構造で、パイプ内部が中空となっていることから、地下水位計を挿入し、同じ孔で地下水位観測を行うことが可能となっている。

本研究では、多段式設置型孔内傾斜計でありながら、孔あけ加工された塩化ビニルパイプ(VP50)側面に薄型の傾斜センサを取り付け内空 38mm の空間を確保し、地下水位計を挿入することが可能な孔内傾斜計(以下パイプ傾斜計と称する)を開発した。

2. パイプ傾斜計の概要

パイプ傾斜計に用いた傾斜センサは、MEMS 技術を用いた 2 軸の重力加速度計を内蔵し、重力加速度ベクトルの X 軸成分と Y 軸成分を計測し、内部の CPU にて演算することで、重力方向(鉛直)に対する XY 平面の傾斜角度を出力する。

重力加速度計の分解能は 0.01° 、測定範囲は $0^\circ \sim 50^\circ$ である。計測間隔は最小 1 分～最大 24 時間で設定し、地表部に設置したデータロガー(電源: 12V バッテリー)に自動で記録される。

パイプ傾斜計の構造は、図-1 に示すように傾斜センサケースの厚さを約 13mm と薄型にしたことにより、パイプ内空が約 38mm 確保され、市販のほとんどの水圧式水位計の挿入が可能で、地中変位計測と地下水位計測が同時に可能となる。

また、傾斜センサケースを直列に配線し、1 本のケーブルで電源・通信の伝達が行われる構造としたことにより、深度が大きくなりセンサ数が増えてもケーブル数は増えず、パイプ内空を圧迫することがない。

パイプ傾斜計の水平変位量(たわみ量)の評価法は、傾斜センサケースをパイプ中央に装着した鉛直に立て

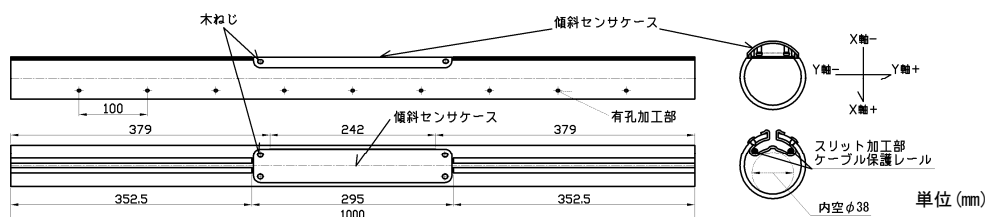


図-1 開発したパイプ傾斜計の構造図

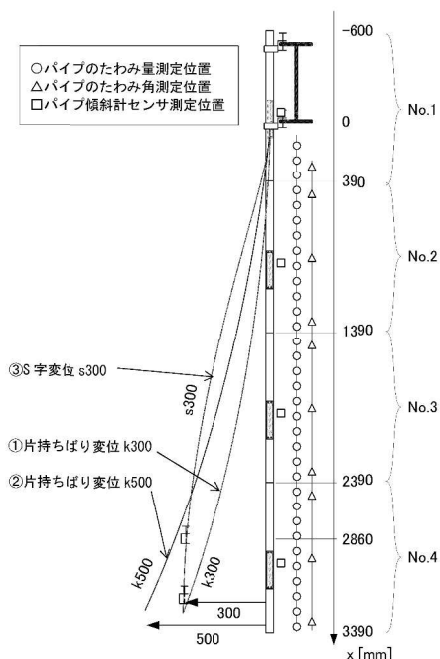


図-2 強制変位実験装置模式図

られた長さ L の塩化ビニルパイプが、下端をヒンジ固定された状態で傾き、その傾斜角度が θ と計測された場合、上端の水平変位量 d は式 $d = L \sin \theta$ で計算する。

3. パイプ接続状態における性能調査

パイプ傾斜計のパイプ接続状態における性能を把握するために強制変位実験を実施した。実験の方法は、図-2 に示す装置にパイプ傾斜計を 4 本接続し、パイプの上端 2 か所を I 型鋼にクランプにて垂直に固定し、パイプ下端を水平方向に変位させ、①片持ちばり変位(変位量 $300\text{mm} = k300$ とする)、②片持ちばり変位(変位量 $500\text{mm} = k500$ とする)、③S 字変位(変位量 $300\text{mm} = s300$ とする)の強制変位を与えた。強制変位時の測定は、パイプ傾斜計の傾斜センサの傾斜角度は図の□の位置にて計測し、ロガーで記録し、パイプのたわみ量は図の○の位置にて定規で、パイプのたわみ角は図の△の位置にてデジタルレベル計で実測した。

なお、パイプ傾斜計のパイプは一方がスリットとなっており、その方向性を考慮して、スリット南向き(S)、西向き(W)、北向き(N)の 3 方向で強制変位を与えた。

キーワード 孔内傾斜計, 重力加速度センサ, 精度実験, 斜面動態観測

連絡先 〒134-0086 東京都江戸川区臨海町 3-6-4 明治コンサルタント(株)技術統括部 TEL 03-6663-2500

3-1. 変形に対しての追従性の検証

強制変位実験にて定規にて実測したたわみ量、パイプ傾斜計の傾斜センサにて計測された傾斜角度から求めたパイプのたわみ量、片持ちばり式により求めたパイプのたわみ量の関係を図-3に示す。これによると、①片持ちばり変位 (k300)、②片持ちばり変位 (k500)、③S字変位 (s300) の強制変位いずれのケースにおいても実測したたわみ量とパイプ傾斜計の傾斜センサにて計測された傾斜角度から求めたたわみ量はほぼ一致しており、片持ちばり式から求めた理論値としてのたわみ量を示す各線に重なるようにプロットされている。

このことから、長さ 1.0m の塩化ビニルパイプを上下に接続した構造体であるパイプ傾斜計の変形は、地盤の変形に対して良い追従性を持つと考えられる。

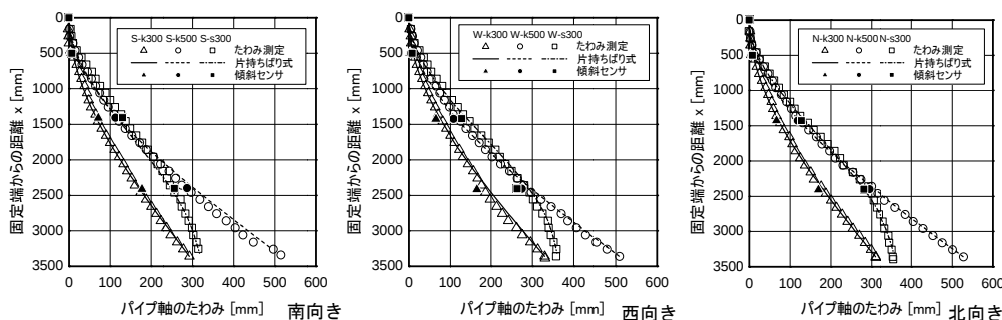


図-3 強制変位実験結果 (たわみ量の比較)

3-2. 傾斜センサの計測値の評価

強制変位実験にてデジタルレベル計により実測した傾斜角度、パイプ傾斜計の傾斜センサにて計測された傾斜角度の関係を図-4に示す。これによると、デジタルレベル計の傾斜角度と傾斜センサにて計測されたパイプ傾斜計の傾斜角度との差は最小で 0.00° 、最大で 1.00° であり、両計測値の相関係数は $K=0.9767$ と良い直線性を持つ。

このことから、パイプ傾斜計の各パイプの中央に装着された傾斜センサは、その位置におけるパイプの傾きを 1.00° 以下の精度で測定できると考えられる。

なお、パイプのたわみ量、傾斜センサの計測値ともにパイプの向きによる違いは確認されない。

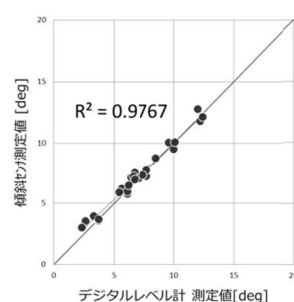


図-4 計測傾斜角度の比較

4. 地すべり地での適用性の検証

パイプ傾斜計の実地盤での適用性を確認するため、実際の地すべり地において、深度 16.5m のボーリングを掘削し、パイプ傾斜計を深度 0m から 15m に (傾斜センサは 1m 間隔で 16 個) 設置し、約 10m 離れた箇所に設置したパイプひずみ計の計測値と比較検証をした。

この地すべりブロックは、幅約 50m、長さ約 60m の規模であり、ボーリング結果から推定されるすべり面深度は、パイプ傾斜計設置孔で 11.5m、パイプひずみ計設置孔で 10.5m である。パイプ傾斜計の設置は、Y 軸を地すべり活動方向 (調査主測線方向) とし、X 軸を地すべり横断方向とした。計測期間は 2015 年 12 月 6 日～2016 年 5 月 14 日である。

図-5 にパイプ傾斜計の Y 軸の傾斜角度から求めた各深度の水平変位量 (パイプのたわみ量) とパイプひずみ計の計測値の日別累積柱状図を示す。

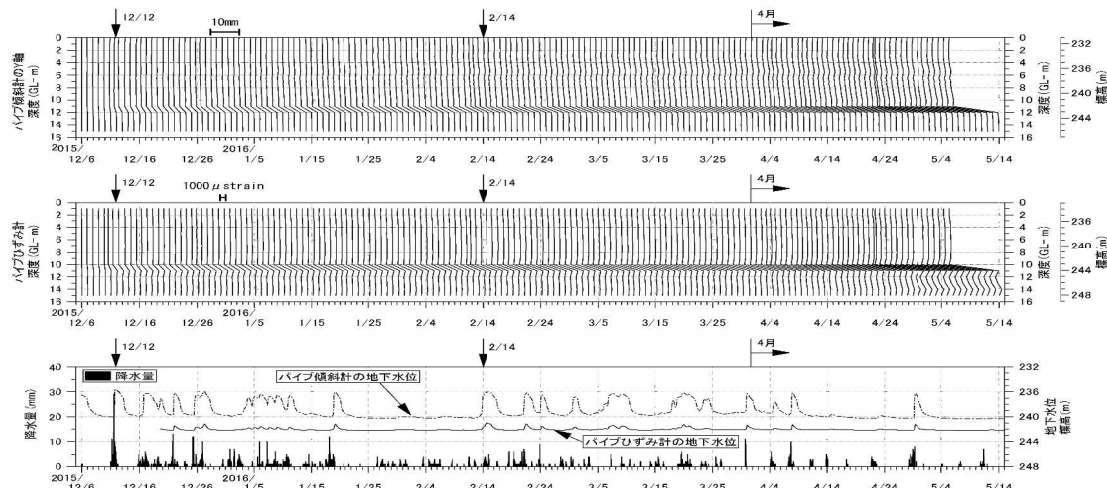


図-5 パイプ傾斜計水平変位量 (Y 軸) とパイプひずみ計の計測値の日別累積柱状図と地下水位変動図

計測の結果、パイプ傾斜計の深度 11mY 軸の傾斜角度とパイプひずみ計の深度 10m のひずみ値において、図に矢印で示すように 2015 年 12 月 12 日頃に累積変動が始まり、2016 年 2 月 14 日に突発的な変動が計測され、2016 年 4 月以降の融雪期に累積が進んだ点など変動傾向が計測期間を通してほぼ一致している。

また、地下水位計測の結果、図-5 下段に示すようにパイプ傾斜計孔内に設置した水位計では約 3.0m の水位の変化を計測し、降雨との相関も良い結果となった。

5. おわりに

開発したパイプ傾斜計について、強制変位実験を行った結果と実際の地すべり地での計測事例を報告した。今後は、実用化に向けて適用事例を増やし、課題の抽出、計測データの解析を進める予定である。

参考文献 1) 早川嘉一, 相田忠明, 佐々木友和 (2002): 変位解析法に基づくすべり層変位の定量解析—モデル実験による変位解析法の検証—, 日本地すべり学会誌, Vol39, No.2, p p 75-83.