

## 火山観測における水準測量技術支援

### Technical Support to Leveling Survey in Volcano Observation

園田忠臣

Tadaomi SONODA

#### Synopsis

At Sakurajima Volcano Research Center, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, leveling survey has been repeated for a long time in order to detect the ground deformation of Sakurajima volcano. This time, I will introduce the role as a technical staff in leveling survey, the observation techniques, and technical support in volcano observation.

**キーワード:** 火山観測, 水準測量, 水準点, 技術支援

**Keywords:** volcano observation, leveling survey, benchmark, technical support

#### 1. はじめに

京都大学防災研究所附属火山活動研究センター桜島火山観測所では、桜島の地盤変動をとらえるため、長期にわたり水準測量を繰り返してきている。これまで、標尺手と測量手と経験を積み学んできた、水準測量での技術職員としての役割、必要とする技術について、今回まとめてここに紹介する。

#### 2. 水準測量

水準測量は、ある2つの水準点間の高低差を測量するもので、火山観測における水準測量は、一等水準測量の精度で測量をする（江頭，1997）。一等水準測量とは、各水準点間の往復測量を行い、水準点間の距離を $L$  kmとしたときの高低差を、往復誤差 $2.5 \times \sqrt{L}$  mm以内で測定する高精度な測量になる。

基本的な測量時の人員は、測量手1名、標尺手2名、交通整理員および補助員が1～2名で構成される[Photo 1]。また、現在使用されている水準儀はデジタルレベルになり、使用する標尺はバーコードタイプになる。この水準儀は、バーコード標尺に向けて視準し、測定ボタンを押すと、標尺までの距離と高さを測定値として数値で表示されるとともに、本体メモリーに記録される仕組みになっている。次からは、

測量時のそれぞれの役割、動作時に気をつけることを説明していく。



Photo 1 Basic members during leveling survey

#### 3. 測量手について

測量手が使用する機器は、伸縮しないタイプの三脚になり、三脚とその上に取り付ける水準儀と脚足に取り付ける温度計で構成され、それらを持ち運び測量する。この測量時の最初の動作が歩測をし、三脚を立てることになるので、三脚を立てるときのテクニックおよび測量時の動作の注意点を以下にまとめてみた。

- [1] 常に、標尺手を含む全体の動きを把握し、全員に動きの指示を出す、重要な舵取り役であること。
- [2] 測量をする区間の中間に、すばやく三脚を立て、大体の水平を取る。このときに、路線上のなるべく硬い場所に1脚でも良いので、乗せることで測量精度を上げることにつながるので、心掛ける。
- [3] 三脚をしっかり踏み、固定したあとに、水準儀の水平をすばやく取る。このとき水平を取る速度を意識する。また、三脚を固定、水平を取ったあとは、測定が完了するまで三脚を動かさないように注意する。
- [4] 測定をする標尺方向に向けて、マニュアルでピンントを合わせる。このときも慌てて手を当てたりしないよう、気をつける。
- [5] 周りの状況をよく確認してから測定する。路線上で測量するときは、往来する人、自転車、自動車等が通過したあとに測定する方がより安全に安定的に測定できる。そして、往路の場合は、測定の最後にその地点のマークを忘れずにする。このマークをする意味は、水準測量は往復測量することによって結果を得られることから、往路で測定した同じ場所で復路も測定するために、マークをする必要がある。これは標尺手も同様になる。
- [6] 測量手が三脚を立てる時間は約20～30秒、測定開始までは1分以内に、これらのことを確認、注意しつつ測定する。また、路面からの陽炎がたった場合は、測量距離を縮めるようにする。そして、精度の良い測定値が出ない場合は、良い測定値が出るまで、何回も測定する。

#### 4. 標尺手について

標尺手が使用する機器は、全長が3mあるバーコード標尺とそれを支える支持棒が2本、標尺を乗せる標尺台で構成され、それらを持ち運び測量する。標尺手の動きは、自分の測量に備えて、バーコード標尺を立てるのと、自分の測量が完了したあとに、その場で回転し次の測量に備える、もしくは、次のサーブに移動する前に、その地点のマークをしてから移動するという大きく3つの動きになる。これら一連の動きのテクニックおよび測量時の注意点を以下にまとめてみた。

- [1] 測量点で、標尺台を置き、しっかり踏んで、すばやく標尺を立て垂直を取り、測量の準備をする。標尺を標尺台に乗せたら、その地点の測量が完了するまでは、標尺を標尺台から絶対に落とさない、離さないようにする。

- [2] 標尺台の球分体(標尺を立てる箇所)を踏まない、埃を付けないようにする。この球分体に埃が付くと、測量の精度に影響してくるので、常に綺麗に維持する。また、標尺台を踏むときは、しっかりと踏み、カタカタさせたりしない。もし、カタカタした場合は、再度しっかりと踏みなおす。
- [3] 標尺台を路線上で置くときは、滑ったり、カタカタ揺れたりする可能性があるので、標尺台を白線の上や側溝の蓋の上などに置かないようにする。なるべく硬い場所を選定して置くことで、測量の精度を上げることにつながるので、意識する。支持棒も同様である。
- [4] 路線上で標尺を立てる際は、標尺の長さ(3m)を意識して立てるようにする。路上にある障害物等にぶついたりしないよう、気をつけて立てる。測量後の移動時も、同様に注意する。
- [5] 標尺を立てたあとは、その測量が完了するまでは、垂直を維持する。また、標尺のバーコード部を支持棒や手で遮らない、さわらないようにする。
- [6] 標尺手が標尺を立てる時間は約15～20秒。標尺を立てたあとは、その測量が完了するまで、測量手の指示に従う。測量手と連携して、すばやく正確に測量が進むようにする。そして、往路の場合は、移動する前に測量手同様、その地点のマークを忘れないようにする。

#### 5. 基本的な水準測量方法について

これまでそれぞれの動きについて説明してきたが、ここからは、水準測量全体の動きについて、実際の水準測量路線を例に説明する。ここでは仮に、測量手1名、標尺手Aと標尺手Bの2名と合計3名構成で測量したものとする。

##### 5.1 平坦路の測量

桜島内に設置されている水準点S18→S19の1区間の測量をした場合を例として説明する。この2つの水準点間の路線距離は、616mであり、路線状況としてはほぼ平坦路になる。仮に測量手の歩幅が70cmで20歩ずつ進んだとすると、1サーブ(1回)で28mごとに測量移動していくことになる。

まずは、スタートの水準点である水準点S18に標尺手Aが立ち、そこから40歩進んだ位置に、標尺手Bが立つ。毎回測量手は、標尺手Aと標尺手Bの中間に立ち、後視と前視と2回測定する。測量手が測定する順番は必ず後視からになり、最後は前視で終わる。ここでは、後視である標尺手Aの測量を実施し、測量が完了すると測量手から標尺手Aに対して「OK」と声をかける。声をかけられた標尺手Aは、移動の準備を

始め、その間に測量手は、前視の測量を始める。そして、前視の測量完了後、進行方向に対して立っている、ここでは標尺手Bに対して「OK、回転」や「OK、後ろ向き」など、動きの指示を出す。ここまでで、1サーブ目の測量が完了になるので、次の2サーブ目まで測量手が歩測移動して、測量手と同じ歩数だけ標尺手Aも進むことになる。この1サーブの測量にかかる時間は、状況にもよるが、だいたい1～2分かかる。

2サーブ目は、現在後視になっている標尺手Bの測定から開始し、その測定の際に今度は前視になっている標尺手Aが素早く標尺を立て、測定準備をすることになる。3サーブ目以降も同じで、進むにつれて、常に標尺手が入れ替わるにより、ゴールの水準点であるS19まで測量を続けて行くと、22サーブ目で、到着する[Fig. 1]。

そして、10～15分程度休憩したのちに、今度は、水準点S19→S18への1区間を同様に測量する。

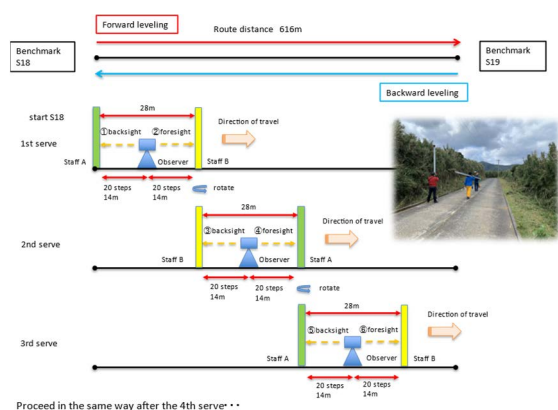


Fig. 1 Basic leveling survey method

水準測量中は、測量手および標尺手の誰か一人は、地面に接してキープされていなくてはならない。もし、全員が動いていたら、その測量はそこで終わりになり、最初からやり直しになるので、全体の舵取り役である測量手が常に気を付けておかなければならない。

## 5.2 測量結果について

次に実際の実測値から得られた測量結果がどうだったのかを説明する。今回の測量路線距離が616mなので、往復誤差を求める式から、

$$\begin{aligned} 2.5 \times \sqrt{L} &= 2.5 \times \sqrt{0.616} \\ &= 2.5 \times 0.78 \\ &= 1.96 \end{aligned}$$

往復誤差1.96mm以内に収める測量ができれば、その測量は合格したことになり、もし収まらない場合は、再測量することになる。

実際の測量結果から、往路（S18→S19）の測量結果が、水準測量にかかった時間が40分、距離617.34m、比高3.34288mで、復路（S19→S18）の測量結果が、水準測量にかかった時間が27分、距離616.62m、比高-3.34267mだったので、往復誤差を計算すると、0.21mmになり、この水準測量は一等水準測量の精度で合格したということになる。

ここで往路と復路の水準測量にかかる時間が違うのは、往路は1サーブごとに、測量手が歩測していくことと測量手も標尺手もその歩測によって決めた測量地点のマークをするので、その分動作が多くなるが、復路は往路に立てた同じ地点に立てるので、その動作が無くなる分、水準測量にかかる時間が短くなる。また、距離の違いについては、往路にあった障害物、例えば自動車の移動などがありえるので、必ずしも同じ距離にはならない。

## 5.3 傾斜地の測量

今回は平坦路の場合で説明したが、これが傾斜地になると、1サーブに進む距離も短くなる。例えば、平坦路で20歩進めたところ、傾斜地では、半分の10歩ずつしか進めないという場合も出てくる。桜島内でも5～6歩ずつしか進むことができない傾斜地の測量区間もある。進む距離が短くなれば、その分測量をする回数も増えるし時間もかかるので、人間の方も疲れてしまう。このようなことに注意しながら一日に約5～8区間測量を進めるので、往復測量距離は約3～6km歩くことになる。

## 6. 水準測量路線について

火山活動研究センターで現在設置管理している水準測量路線は、桜島島内に、桜島一周ルート、ハルタ山ルート、北岳ルートの3路線設置している。また、桜島を含む始良カルデラ周辺部において、磯ルートとKルートが設置されているので、計5つのルートが存在している[Fig. 2]。それぞれの水準測量路線の距離と水準測量にかかる実働時間は、以下の通りになる[Table 1]。ここで示す実働日数は、測量班1班で測量した場合にかかる日数になる。



Fig. 2 Leveling survey route map in Sakurajima  
Volcano Research Center

Table 1 Leveling survey route information in  
Sakurajima volcano

| Route name          | Route distance<br>(km) | Actual working<br>days |
|---------------------|------------------------|------------------------|
| Coast route         | 36                     | 12～13                  |
| Harutayama<br>route | 11                     | 5～6                    |
| Kitadake route      | 8                      | 7                      |
| Iso route           | 11                     | 3                      |
| K route             | 25                     | 9                      |

## 7. 水準点管理について

先ほど示したとおり，火山活動研究センターで現在設置管理している水準測量路線は，5つのルートが存在している[Fig. 2]が，そこには水準点がそれぞれ設置されている．桜島内に設置されてから，一番古い水準点は，S17とS26であり，共に1957年に設置され，現在に至るまで大切に守られ使用してきている．水準測量は，各水準点間の高低差を測定するので，この水準点が存在しないことには，水準測量を実施することができない．設置後50年以上経過している水準点を今でも使用できるというのは，まさにこれまで維持管理してきていただいた，先生方および先輩技術職員のたまものに他ならない．水準点を維持管理していくことは，水準測量を継続していくためにも，非常に大切なことであり，課せられている重要な任務にほかならない．そこで，具体的にどのようなことをしているのか以下にまとめてみた．

[1] 水準測量を実施する前の水準点点検整備をする場合は，そこに標尺を立てた時のことを想像して，水準点上空の見通しがよくなるよう，環境整備を実施する．注意すべき点は，測量手が三脚を立てる位置まで想像できれば，三脚から標尺までの直

線上にかかっている雑草や雑木なども点検時に除去できているとなお良い．

[2] 水準点はしばしば埋まっていることも多いので，掘り出しておく．その際に注意すべき点は，ただ掘り出すだけでなく，水準点に標尺を乗せた場合を想定して，水準点の周りを大きく掘り出すようにする．

[3] 水準点は路線上に設置されることが多く，道路改良工事などで壊される可能性があるので，水準点がそこに存在しているということを周囲に知らせるために火山活動研究センターでは，標柱を立てるようにしている．また，標柱を立てることにより，注意喚起にもなるので，標柱込みで設置許可申請するようにしている．

[4] 水準測量を実施していない期間，つまり平常時から各水準点の近傍に観測等で出向いた場合は，点検確認するようにしている．特に注意したいのが，予告無く始まる場合の緊急道路改良工事や路線の環境整備など，水準点を壊されないか注意したい．もし可能であれば，その時の施工業者へ一言添えるのも良い方法である．

[5] 台風や大雨，また災害が発生した後の点検も必ず実施するようにしたい．過去にも道路への土砂流出により，水準点が埋もれてしまい，その道路の改修工事がそのまま実施されることになり，やむなく水準点を再設置することになった事例もある．

[6] 水準点の維持管理をしていくうえで欠かせないことの一つとして，点の記の作成更新作業がある．点の記とは，水準点を設置した時の情報をまとめたもので，例えば水準点の形状や設置方法，設置後の変更履歴など情報をまとめたものである．水準点の維持管理のためにも後世に引き継ぐ重要な手引書となるので，同様に維持管理していくようにしたい．

## 8. 水準点管理の重要性

水準点が道路工事等で壊されると，それまで蓄積してきたデータが途切れてしまうことにもなりかねないので，こまめな点検継続が重要である．Fig. 3は，水準測量結果の一例で，S17を基準点としたS26，BMSVO，S414，S423水準点の比高の経年変化である．このうちS26は，前述のとおり1957年の設置から現在まで途切れることなくデータが取得されている．

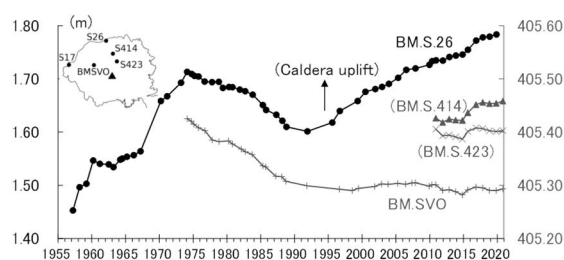


Fig. 3 Sakurajima volcano leveling results  
(Disaster Prevention Research Institute, Kyoto  
University, 2020)

## 9. まとめ

地盤変動観測の中で、地盤の上下方向の動きをとらえるのにもっとも高精度な手法が、水準測量である。ただし、1回だけの水準測量では、その時の地面の高さしか分からないので、繰り返し測量をし、データを蓄積していくことにより、長期的な地盤の上下方向の変動をみることができるようになる。これまで蓄積されているデータ、現在水準測量によって得られるデータは、このまま未来へと残していかなければならない重要なデータになっていく。技術職

員として、この水準測量を続けていくためにも、測量班の構成員としての任務をしっかりとやり遂げること、また更なる水準測量技術の向上とこの水準測量技術を後世に引き継いでいく為の技術指導を続けていきたい。そして、水準測量に一番かかせない、水準点の維持管理を継続し、いつでも水準測量が実施できるようにしていきたい。

## 謝 辞

本稿を改善するうえで、京都大学防災研究所附属火山活動研究センターの山本圭吾助教から、大変有益なご助言とご指導を頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 江頭庸夫（1997）：一等水準測量の基礎-測量班への実践的アドバイス-, 43p.  
京都大学防災研究所（2020）：桜島，第147回火山噴火予知連絡会資料，12p.

（論文受理日：2021年8月31日）