

岩盤表面変位計測手法 (SPTS) の開発と適用について

DEVELOPMENT AND ITS APPLICATION OF MEASURING METHOD FOR DISPLACEMENTS ON ROCK MASS SURFACES

(財)電力中央研究所 池川洋二郎*

Yojiro IKEGAWA

A new measuring method of displacements at a distance has been developed to measure every point of wide areas of rock mass surfaces of chambers for underground power plants and slopes in mountains to aim for rational safety management and informational construction management. By measuring a projected spots of laser beam applying image processing, it has not been necessary to place reflective mirrors and any devices on the rock mass surfaces. This makes any platforms and cranes unnecessary, then the survey becomes efficient without disturbing construction and other field works. After saving the many spots into the system, the monitoring can be performed without human. The accuracy is less than 1 mil-meter at a distance of several tens meter.

Keywords: displacements, field measurement, underground chamber, rock slope

1. はじめに

当所では岩盤の崩壊時の変位挙動を解明することにより、診断・評価手法の提案を目的とし、岩盤表面変位を独自に開発し、SPTS (Spot Projection Triangular Surveying)法と呼んでいる。装置はレーザー投影用と撮影用の2台の1級セオドライト、画像処理装置、PCなどで構成され、投影するレーザースポットを計測点とすることで、何も設置することなく、離れた所から複数点(約45点/時)の計測ができる。また、数地点での現地検証により、10~100m程の離れた所から計測する方法の中で最も良い計測精度を示している。ここではSPTS法の概要、原位置計測での概要と結果について記述する。

2. 計測手法

図-1にSPTS法の計測概要を示す。計測方法は、ある点から岩盤面に投影したレーザースポットを別の角度から撮影することで、空間中に形成される三角形からスポットの3次元座標を求めるものである。装置はレーザー投影用と撮影用の1級セオドライト(1秒読み)と画像処理装置、制御・解析用のPCなどから構成している。レーザー投影と撮影はセオドライトの望遠鏡を使い、この望遠鏡の方向はセオドライトに内蔵するステッピングモータにより全方向に2~3秒の精度で方向が制御できる。また、画像処理装置は撮影されるスポット位置を求めるために使われる。

原位置計測では、計測地点に設ける基準座標系に基づき、設置した2台のセオドライトの望遠鏡の中心を測量により求める。計測点の記録は手動で2台のセオドライトの望遠鏡の方向を動かし、計測点にレーザースポットを投影し、スポットの撮影を行う。これで計測される各望遠鏡から複数の計測点の方向をテキストで記述する

*正会員 (財)電力中央研究所 我孫子研究所 地盤耐震部

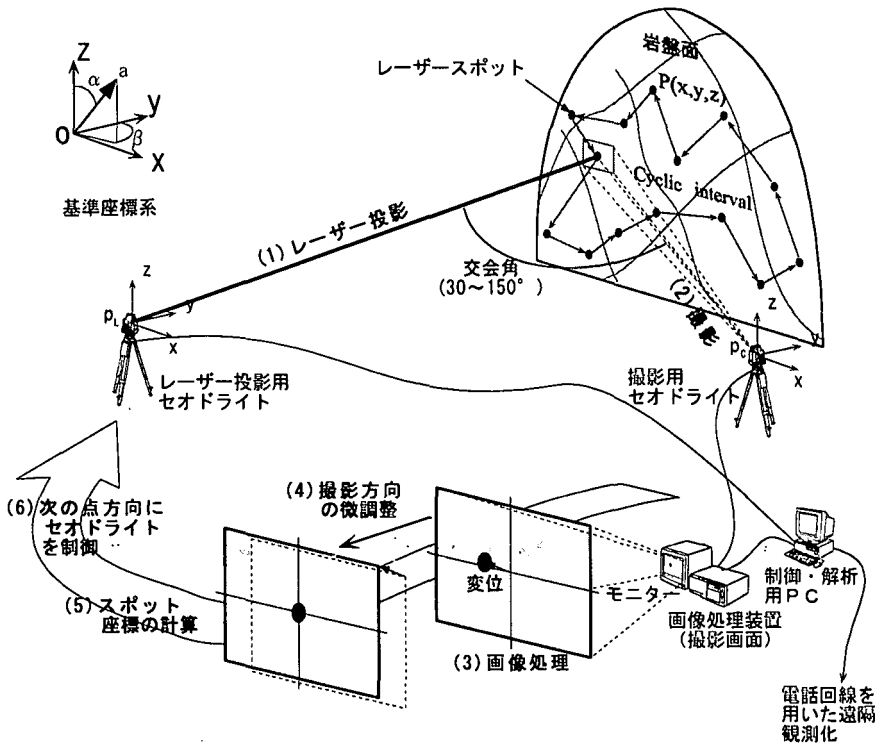


図-1 レーザー投影三角測量(SPTS)法による計測概要

クリプトとして記録する。図-1の基準座標系の所に示すように、ここでの方向は傾斜・傾斜方向角(α, β)で記述する。傾斜角(dip angle)はz軸となす角($0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$)で表し、傾斜方向角(dip direction angle)はy軸から時計回り(x軸方向)の角($0^\circ \leq \beta < 360^\circ$)で表す。

連続計測では、以上で作成したスクリプトを使い、記録された順に計測点の3次元座標を自動インターバル計測で経時的に求める。この自動計測では、撮影されるスポット位置を画像処理で求め、撮影用セオドライトの方向を秒精度で微調整することで、撮影用セオドライトからスポット方向を再計測している。これは従来の目視による視準を自動化させたものである。

以上で空間中に形成される三角形のうち、一定値である2台のセオドライトの3次元座標 $P_L(x_L, y_L, z_L)$ 、 $P_C(x_C, y_C, z_C)$ と、計測毎に得られるレーザー投影用セオドライトからスポット方向の角(α_L, β_L)と、撮影用セオドライトからスポット方向の角(α_C, β_C)が計測される。これらの値を用い、平面上の三角形より、式(1a)と(1b)に示す測量法(前方交会法)に基づき、スポット座標 $p(x, y)$ が計算される。ここでサフィックスLとCは、レーザー投影用と撮影用のセオドライトを示す。

$$x = x_C - \frac{(y_L - y_C) - (x_L - x_C) \tan \beta_L}{\tan \beta_C - \tan \beta_L} \quad (1a)$$

$$y = y_C + (x - x_C) \tan \beta_C \quad (1b)$$

しかし、望遠鏡の中心座標の測量値、視準、測角などで計測誤差が生じるため、z座標が一意に決まらない。このため、ここではx,y座標の一意性を優先させて、z座標は式(2)のように計測点から各セオドライトまでの水平距離 d_C, d_L を重みとする平均で求めている。

$$z = \frac{d_C(z_L + d_L \cot \alpha_L) + d_L(z_C + d_C \cot \alpha_C)}{d_L + d_C} \quad (2)$$

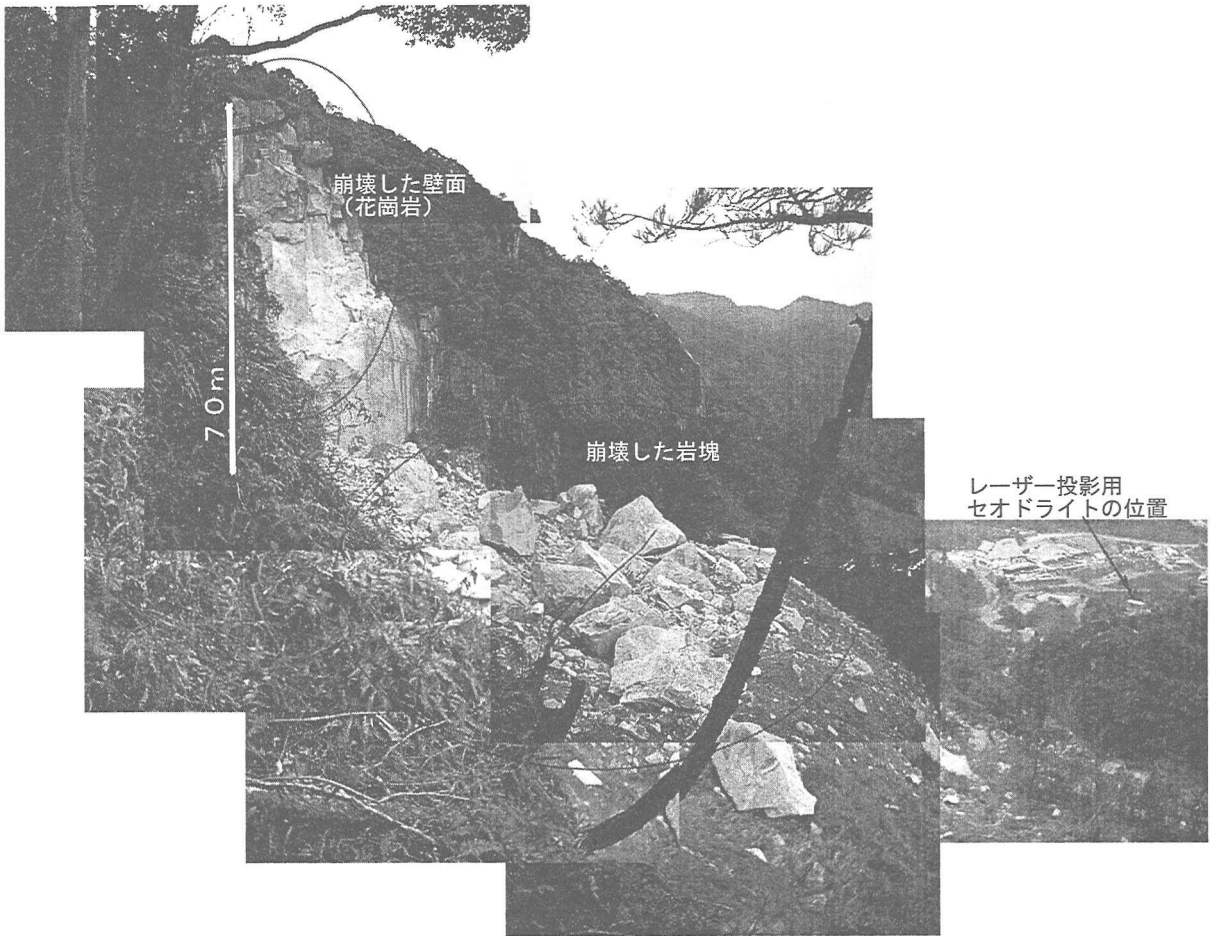


図-2 撮影用セオドライト位置からの崩壊面

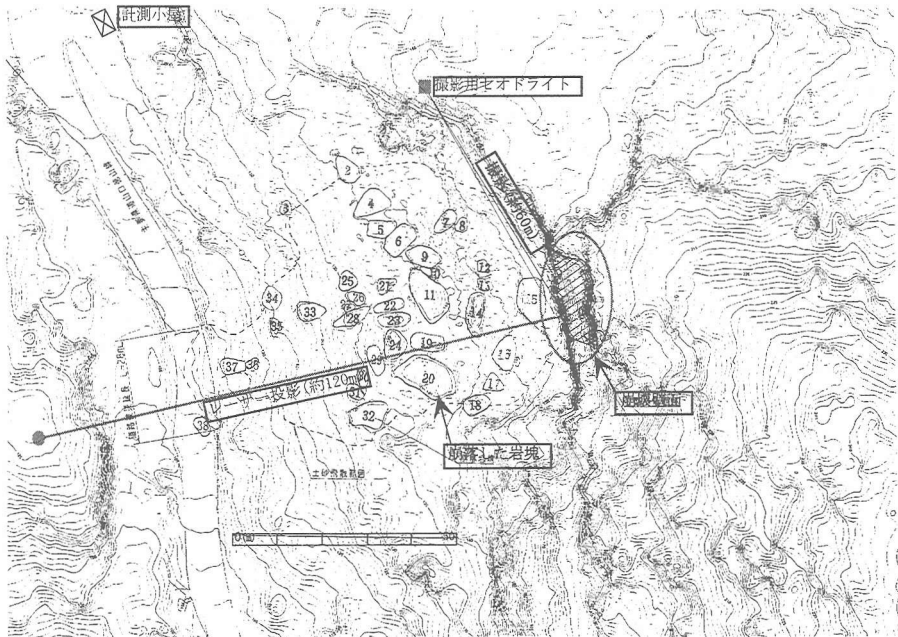


図-3 計測地点の平面図と計測装置の配置

ここで、 $d_c = \{(x-x_c)^2 + (y-y_c)^2\}^{\frac{1}{2}}$ 、 $d_l = \{(x-x_l)^2 + (y-y_l)^2\}^{\frac{1}{2}}$ である。以上より、計測毎に得られる (α_i, β_i) 、 $(\alpha_{li}, \beta_{li})$ よりスポット座標が求められる。

岩盤の崩壊時の変位挙動を計測しようとする、崩壊時期の予測が困難なため、長期間の連続計測を行うことにより、挙動を捕らえる必要がある。このため連続計測に必要な計測機器の自動制御を行う制御・解析ソフトを独自開発している。この制御・解析ソフトはPC上で動作し、RS232Cで繋がるセオドライトを自動制御することなどで、事前に設定した計測点の計測ができる。

計測データを計測現場以外でも見れるよう、また、正常計測のチェックや簡単な計測制御の変更できるようにネットワーク化できるようにしている。このネットワーク化はOSあるいはOSに添付されるソフトの機能を用いることで行っているが、これらの機能を利用するため、SPTS装置の制御・解析ソフトをOS (MS-Windows) のアプリケーションとして開発している。ネットワーク用の回線としては、携帯電話、アナログ回線、ISDN、LANなどのうち、計測地点で利用可能な方法から選択することになる。

3. 計測地点の概要

図-2に計測地点の概要を示す。これらの写真は撮影用セオドライトで撮影したものである。約70mの花崗岩の壁が崩壊後に壁面上に残ったオーバーハングした岩塊の挙動計測を行ったものである。計測装置の配置は図-3の平面図に示すように、撮影用のセオドライトを崩壊壁面を斜面横から撮影できる位置に設置し、レーザー投影用セオドライトは壁面に直行するようにレーザーを投影するため、川を挟んだ対岸の丘頂部に設置した。セオドライトの自動制御、解析保存等を行う画像処理装置やPC類は図の左上に位置する計測小屋の中に置いた。レーザー投影用セオドライトから崩壊斜面までの距離は約120m、撮影用セオドライトから崩壊斜面の平均的な距離は60mほどであった。

図-4は崩壊壁面上に設定した計測点を示す。これらの計測点は、レーザー投影用セオドライトからの水平と鉛直角を記録し、これらの方向にレーザーを投影することで得られるものである。従って、壁面上には何も設置していない。本計測で注目した箇所は、計測番号が23,24,25,30,60を付けた岩塊で、背面に崩壊壁面に並行するような割れ目が存在していた。

SPTS法による計測は平成12年2月から8月まで実施した。この崩壊壁面は安全確保のため、壁面頂部の不安定と思われる岩盤が5月に発破による除去が行われた。この発破は2度に分けられ、最初は壁面に向かって右上部の岩盤、次に左上部の岩盤が発破除去された。SPTS法による計測では最初の発破前後に、危険と思われる岩塊の変位の計測が行えた。

4. 計測結果

図-5にSPTS法による計測で得られた時間-変位曲線を示す。結果は注目した岩塊上のSPTS法による3点の変位と、リファレンスとして設置した反射鏡を用いた光波測量の結果を示す。反射鏡は、崩壊斜面に近い箇所に設置した撮影用セオドライトの移動の有無を確認することを目的に設置したもので、レーザー投影用セオドライトを設置した岩盤上に設置した。SPTS法による計測は、太陽のでている昼間は岩盤面上に投影したレーザースポットが認識できないため、夜間のみ計測となる。このため、計測データは夕方6時から翌朝6時ぐらいの間の計測結果が得られている。

5. 考察

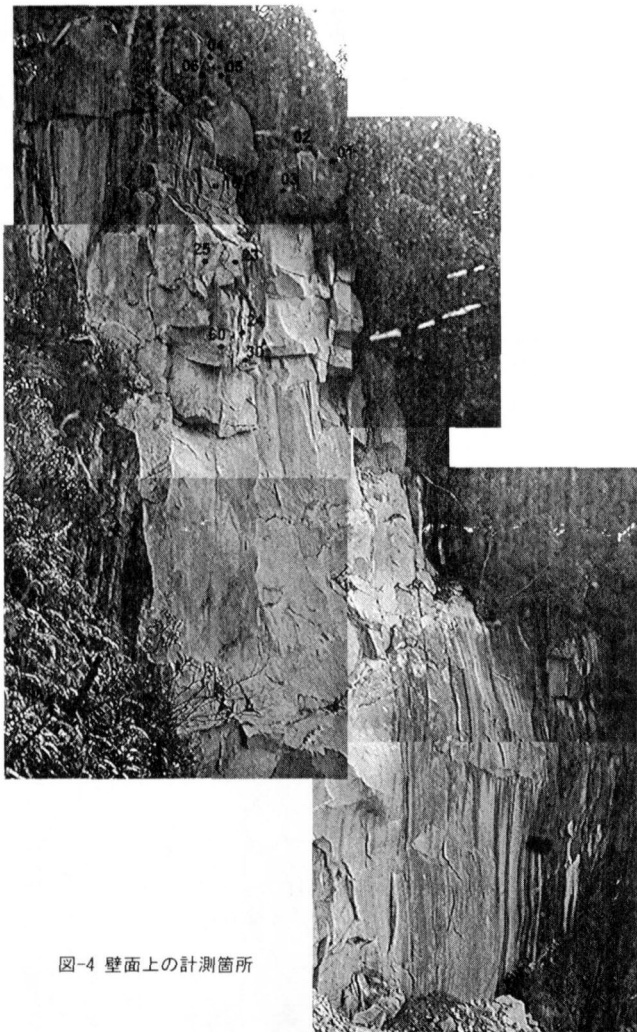


図-4 壁面上の計測箇所

リファレンスとして設置した反射鏡を用いた光波測量の計測結果より、崩壊壁面の近くに設置した撮影用セオドライトの移動はないことが分かる。これよりSPTS法による計測は十分に行えたことを示すと考える。本計測により、精度改良を必要とするが、SPTS法は計測距離120m程まで適用可能である。

以上より、人が近づくことが非常に危険である崩壊岩盤面などの変位挙動を離れた所から安全に計測することを原位置計測により示すことができた。

今後は、セオドライトの傾斜補正等の機構を付加するなどにより、精度向上を検討する必要がある。

参考文献

- 1)池川洋二郎、伊藤洋、大西有三：岩盤に生じる局所変位の遠隔自動計測装置の開発、土木学会論文集No.624/III-47 1999.6
- 2)池川洋二郎、中川加明一郎、志田原巧：圧縮空気貯蔵実験用の小規模空洞にトラップされる空気の挙動—空洞形状の計測によるタンクテーブルの作成—、第30回岩力シンポ、2000.1、pp68-72

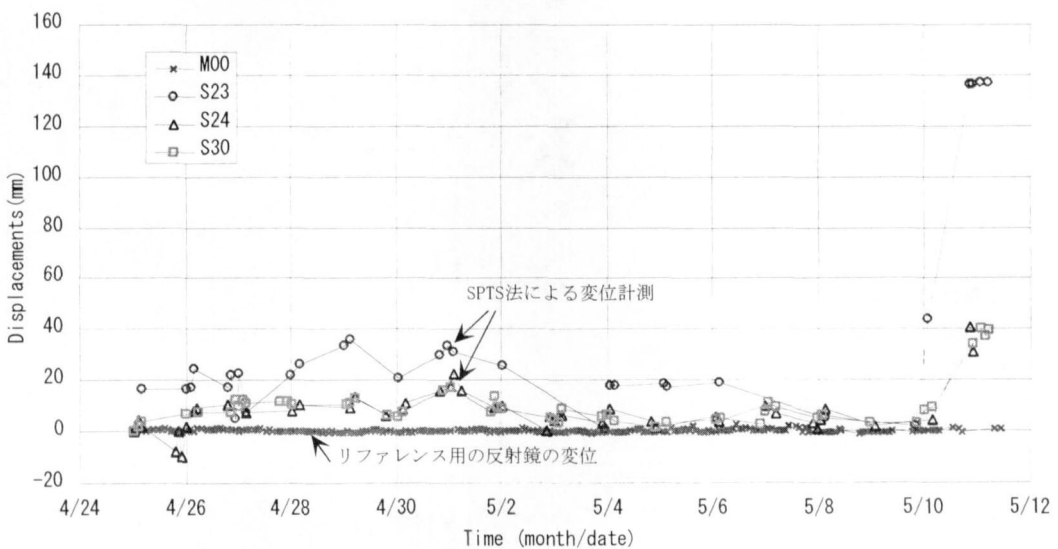


図-5 変位の経時グラフ