

ノンプリズム型レーザー測距器による岩盤斜面の変位測定

DISPLACEMENT MEASUREMENTS OF AN UNSTABLE ROCK MASS ON A SLOPE USING A LASER-SURVEYING INSTRUMENT WITHOUT REFLECTION PLATES

西川直志[※]・北村晴夫[※]・石田毅^{※※}・田中政芳^{※※※}

Tadashi NISHIKAWA, Haruo KITAMURA, Tsuyoshi ISHIDA and Masayoshi TANAKA

Displacement measurement is essential to monitor rock mass behavior. However, on many steep rock slopes, it is difficult to set reflection plates and some other devices on a slope. To solve the problems, the authors tried to use a laser-surveying instrument for monitoring of an unstable rock mass left after rock block failure.

The instrument can measure displacements of many points on rock surfaces within the distance of 1000 meters without reflection plates. The monitoring results indicated that points only on the unstable rock mass showed large displacements in contrast to surrounding other points with no displacement, thus elucidating applicability of this instrument.

Key Words: rock slope, displacement, laser-surveying instrument, rock block failure

1. まえがき

岩盤斜面の変位測定には、伸縮計・地盤傾斜計・クラック変位計・光波測距法等の地表面変位を測定する方法と、孔内傾斜計・パイプひずみ計等の岩体内部の変位を測定する方法とがある^{1) 2) 3) 4)}。

地表面変位測定の内、伸縮計・地盤傾斜計・クラック変位計はその精度が高く、崩落面となる亀裂等が明瞭で設置場所を特定できる場合には有効な手法と考えられる。ただし、岩盤崩落現場では急崖のため設置が困難なことが多く、亀裂等が不明確な場合も多い。一方、光波測距法は精度的には劣るが、遠隔から多点を測定できるため広い範囲をカバーしやすい利点がある。しかし、プリズム等の反射鏡を使う光波測距法ではやはり反射鏡設置の困難さがつきまとう。

今回検証したノンプリズム型レーザー測距測角器は、反射鏡を必要とせず、測定が遠隔からでき、測点の設定・変更も容易という他の測定法にない特徴がある。プリズム型は、いくつかの現場で採用されているが⁵⁾、筆者らの知る限りではノンプリズム型による変位測定の事例は報告されていない。精度がプリズム型より悪い点が導入をとどまらせていると考えられるが、今回の測定では、連続測定を行うことで、一定の成果を得られたので報告する。測定現場は、1999年8月27日に山口県内の花崗岩採石場跡地で発生した岩盤崩落箇所である。約3,300m³の岩塊が崩落して、約70m下方の県道を28m区間に渡って閉塞した⁶⁾。岩盤崩落後の壁面には不安定岩塊が残存し、現在、これらを数段階に分けて発破除去する災害復旧工事が行われている。発破毎に崖下に落とした岩塊を撤去する必要があるため、ノンプリズム型による変位測定は、崖下での撤去作業中の岩壁監視の目的で導入した。

※ 正会員 (株)東建ジオテック 山口出張所

※※ 正会員 工学博士 山口大学 工学部 社会建設工学科

※※※ (株)ソキア システム機器部

2. 測定器の仕様と特徴

今回採用した測定器は、NEC製の距離測定部とソキア製の測角儀（セオドライト）を組み合わせた製品（INT5000）である（写真－1）。

本器は、パルスレーザーを光源とするノンプリズム型の測距器で、プリズム等の反射鏡を必要としない。また、モータードライブを内蔵しているため、多点の自動測定が可能である。本器の仕様を表－1に示す。なお、測定は連続でも任意の時間間隔でも行える。

ノンプリズム型は、プリズム型よりも強いレーザー光を使用するため、人体特に目に対する影響が懸念されるが、本器ではパルス光の照射時間を数10ns以下の短い時間内に抑え、平均エネルギーを低くする工夫がなされている。ただし、レーザー光が強力なために、反射プリズムを利用した測定はできない。

また、プリズム型が照射波と反射波との位相差から距離を得る変調測距方式を採用しているのに対して、ノンプリズム型は拡散反射された光の一部を検出して、照射パルス光との時間差を直接測定し距離を得るパルス測距方式を採用している。このため、測定に要する時間はノンプリズム型の方が短く、多点の測定に有利な他に高速移動物体の測定にも適用できる可能性がある。

ノンプリズム型測距器は、複数メーカーで製品化されており、測距範囲は100～200m程度のものが一般的である。また、ビーム広がり角は2～3mradであるため、ビーム径が200m先では20～30cm、500m先では100～150cmにもなり、どこを測っているのか分からなくなるといふ問題を抱えていた。

岩盤崩落地の変位測定に光波測距器を適用する場合、一般に崖面に近づくことが危険なため、測定距離は数百mとなることが多い。この点、本器は最大1000mまでの測定が可能であり適用性が高い。また、ビーム広がり角も0.3mradと小さいため、ビーム径は500m先でも約15cmと実用レベルにある。

ノンプリズム型の難点はその精度で、メーカー仕様では500m以内の測定で±20mm、1000m以内では±50mmとなっている。

気象条件は測定値に影響を与えるため、気温と気圧の補正が必要である。温度1℃に対する変化は約1ppm（1000mで1mm）、気圧1hPaに対する変化は約0.3ppm（1000mで0.3mm）である。

なお、照射パルス光は、日照の影響が少



写真－1 測定器（INT5000）

表－1 測定器（INT5000）仕様

レーザー	波長 1.064 μm, 固体レーザー (Nd:YVO ₄)	
レーザークラス (JIS)	クラス 1/クラス 3A 切り替え	
測距範囲	5～1000m (反射率 20%以上)	
測距精度	～500m	±20 mm以下 (固定+ランダムσ)
	500～1000m	±50 mm以下 (固定+ランダムσ)
測距分解能	1 mm	
ビーム広がり角	0.3mrad 以下 (500m先で約15cm)	
走査測角範囲	鉛直	角度座標 135° ⇄ 0° ⇄ 270° (天頂 0° 時)
	水平	無制限回転可能
最小計測間隔	5'	
測角精度	±5"	
回転角速度	最大 8°/S	
照準望遠鏡倍率×視野	30倍×1° 30'	
電源電圧	DC12V	
消費電力	最大 48W	
使用温度範囲	-10℃～+40℃	
防水性 (JIS)	防滴 2型	
寸法 (センサ部)	約 210W×210D×395H (mm)	
重量 (センサ部)	約 10kg	

写真-2 測定器と対象斜面

Figure 1 is a black and white photograph of a rocky cliff face. Twelve sampling points are marked with white dots and numbered 1 through 12. Two specific areas on the cliff are outlined with white lines. The area on the left, containing points 7, 8, 9, and 27, is labeled '5/18除去範囲' (5/18 removal range) with an arrow pointing to it. The area on the right, containing points 3, 4, 25, and 28, is labeled '5/10除去範囲' (5/10 removal range) with an arrow pointing to it. A vertical scale bar on the left side of the image is labeled '約10m' (approximately 10m).

写真-3 測定点

なお、測定中の5月10日と5月18日のそれぞれ午後2時に発破により不安定岩塊が除去されている（写真-3）。

測定は自動制御で1時間毎に行い、データは通信線を通じて約100m離れた観測小屋の制御用パソコンに転送した(図-1)。観測小屋からは電話回線を通じて、eメール形式でデータを送信し、会社事務所のパソコンで受信し、解析用ソフトによりリアルタイムでグラフ化する。この方式は、データがeメール形式であるため、出張などで会社事務所を離れていても、インターネットを利用できる環境であればどこでもデータを受信できる利点がある。また、eメールデータは容易に再配信できるため、複数箇所での監視にも対応しやすい。

観測小屋では、気温・気圧・雨量・風速・風向も自動測定しており、そのデータは、同様にeメール形式で送信される。気温と気圧の測定値は、測距値の気象補正に自動反映される。

実際の測定では、1 測点を 10 回連続測定し、異常値を除いた平均値を採用した。30 箇所の測定に要する時間は、10 分程である。

機能的には連続測定も可能だが、長時間(数日)におよぶと距離測定部が加熱し、機器の信頼性が低下する傾向がある。したがって、今回の筆者らの経験では1時間毎の長期測定の場合、20~30分以内で測定が完了するように測点数を制限した方が良いと思われた。

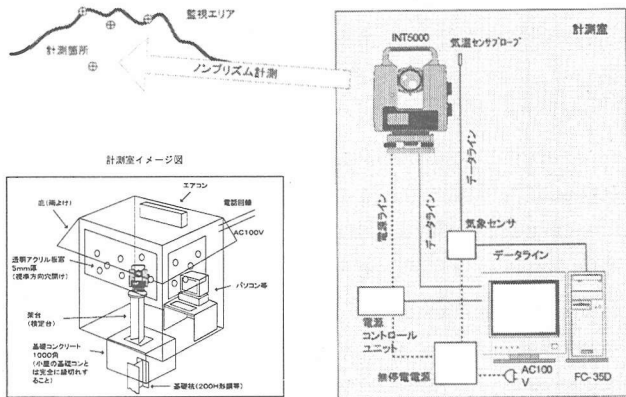


図-1 測定システム構成イメージ図

4. 測定結果

5月18日の発破後、斜面形状の変化にともない測点を変更したため、本報告では4月28日から5月19日までの測定結果を示す。

図-2に気象データ、図-3に代表8測点の変位測定値を示す。

測点6は安定岩塊部のもので、他の7測点は不安定岩塊部のものである。変位測定値にはブレが見られるが、メーカーの示す測距精度 ± 20 mm以内にほぼ収まっている。

測点6は、日変動があるもののほぼ一定の値を示す。測点3, 25, 28もほぼ一定の値を示すが、5月10日の午後2時の発破により、測定箇所の岩塊が除去されたため、プラス側（奥側）へ急激に値が変化している。これに対して、測点7, 8, 9及び27ではマイナス側（手前側）への累積変位の発生が明瞭である。なお、測定は4月28日の午後1時頃から開始したが、半日程は値が一定しないようで、すべての測点でこの間に10~20 mm程マイナス側へ値が移動している。したがって、実変位量を算定する場合にはこの分を差し引く必要がある。

マイナス側への累積傾向が認められたのは、写真-3の上部左側の不安定岩塊部に限定されている。このブロックは側部に明瞭な流れ盤の開口亀裂（傾斜約 60° ）があり、もっとも不安定なブロックと判定されていた。

また、5月10日の発破時には、測点7及び測点8で測定値に段差が認められ、5月18日の発破後にも残存した測点9で微少ながらプラス側への戻りが認められた。

以上の点から、測点7, 8, 9及び27では不安定岩塊ブロックの変位をキャッチした可能性が高いと判断した。残念ながら、このブロックは5月18日の発破で除去されたため、その後の変位は追跡できなかった。

変位の認められた測点の変位量を測点別にみると、この間に測点7, 8, 9では約50 mm、測点27では約20 mmの変位が認められる。これを平均日変化に換算すると、1.0~2.5 mmの変位になる。なお、5月1日午前0時頃までの変位はやや大きく、初期段階のデータの不安定さが残存していた可能性もある。

なお、ここで示した変位量は、測定器からの斜距離の差であるこ

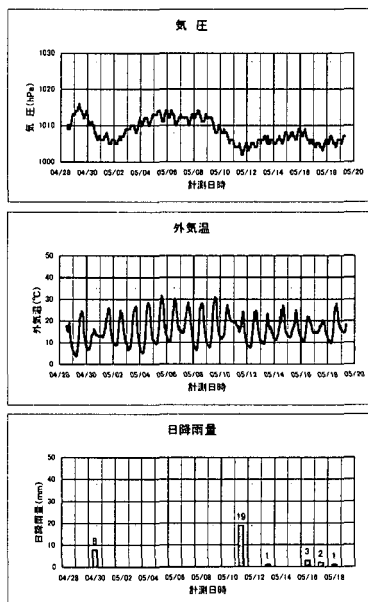


図-2 気象データ

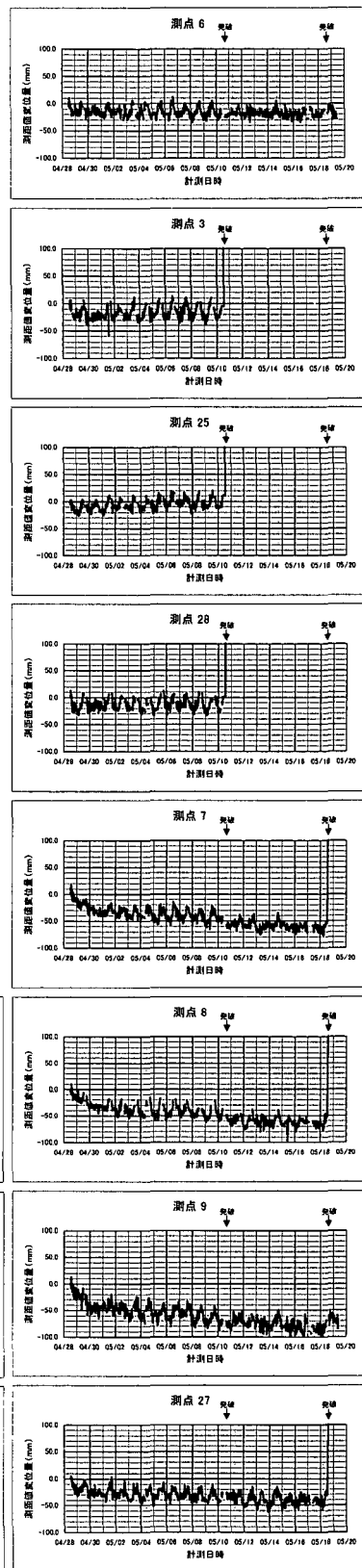


図-3 変位測定値

と、測点が測角儀の水平角度及び高度角度のみで制御されるため、測定物が移動した場合はそれに伴って測点も移動することから真の変位量ではない。

図－3に示した変位測定値はすでに外気温及び気圧の補正がなされているが、まだ気象値特に外気温の影響が見られる。また、測点6～8では5月10日頃から日変動幅が小さくなっているが、気圧の振幅に影響されている可能性もある。いずれにしても、気象補正方法については今後検討が必要と思われる。

5. まとめ

- (1) 光波測距器を利用した変位測定は、広い範囲の測定をできる利点があるものの、いまだ研究中の手法として位置づけられており¹⁾、その適用例は少ない。その原因として精度的に伸縮計やクラック変位計に劣ること、常時設置をした場合に維持管理が難しいこと、プリズム型の場合には反射鏡の設置が難しい場合が多いことが挙げられる。
- (2) ノンプリズム型光波測距器は、測点の設定・変更が容易なため、斜面状況の変化にも対応しやすい利点があるが、プリズム型より利用事例が少なく、精度もさらに低くなる。今回は自動連続測定を行うことにより、この問題の改善を試みた。この結果、測距精度を上回る変位がある場合や、日変位が微少でも累積傾向がある場合には、変動を把握できることが分かった。
- (3) ノンプリズム型光波測距器の精度的な問題では、日変動が大きなウェイトを占めるが、気象補正の見直しを行うことによって、さらに精度を上げられる可能性がある。
- (4) 岩盤の挙動監視を1手法のみで行うことは難しく、複数の手法を組み合わせることが望ましい。本現場では、A E測定と組み合わせた⁸⁾他、その後、マイクロ波による変位測定⁷⁾も実施している。測定は現在も継続しており、発破による周辺岩体の緩みなどもキャッチしている。この点については別の機会に報告する予定である。

【参考文献】

- 1) (財)道路保全技術センター：トンネル坑口部等の岩盤崩落対策の考え方、1996、p. 25.
- 2) 日本応用地質学会：応用地質計測－手法と解釈・評価－、1998、p. 183.
- 3) 土木学会：岩盤斜面の調査と対策、1999、p. 376.
- 4) 日本応用地質学会：斜面地質学－その研究動向と今後の展望－、1999、p. 294.
- 5) 加藤洋介・大久保伸介：光波測距法を用いた岩盤切土法面の動態観測事例、全地連技術フォーラム 2000 講演集、pp. 167-168、2000.
- 6) 北村晴夫・西川直志・石田毅・古屋憲二：山口市鳴滝地区岩盤崩落の地質構造と発生機構の検討、第31回土木学会岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、2001。(印刷中)
- 7) 三宅克行・田仲正弘・玉木茂・市川商二郎：マイクロ波を利用した岩盤斜面危険予知システムの検証、第30回土木学会岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp. 190-197、2000.
- 8) 石田毅・師井努・田仲正弘・塩谷智基：岩盤斜面崩落後の不安定岩塊のA E計測、第31回土木学会岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、2001。(印刷中)