

# 拡散レーザー光線を用いた変位計の開発 —地盤伸縮計との比較実証実験—

納谷 宏<sup>1\*</sup>・溝上雅宏<sup>1</sup>・浅利晋一郎<sup>2</sup>・増成友宏<sup>3</sup>・清水則一<sup>4</sup>

<sup>1</sup>明治コンサルタント株式会社 (〒064-0807 札幌市中央区南7条西1丁目13)

<sup>2</sup>松下電工株式会社 情報機器開発部 (〒571-8686 大阪府門真市大字門真1048)

<sup>3</sup>古野電気株式会社 システム機器事業部 (〒662-0934 兵庫県西宮市西宮浜2丁目20)

<sup>4</sup>山口大学大学院 理工学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2丁目16-1)

\*E-mail: naya-h@meicon.co.jp

我々は人の近づけない危険な地すべり斜面や急崖など計器の設置が困難な条件でも地盤や構造物の変位量計測が可能な計器として、拡散レーザー光線を用いた変位計を開発し、その実用性を検証する実証実験を行った。開発した変位計は、天候や粉塵などの影響を受けにくくするため、スポット光の直径および広がり角を大きくし、かつ、眼や皮膚など人体への影響の無い弱い出力としたレーザー光線を用いたものである。室内実験の結果、基線長50mで強制変位10mmに対して $\pm 0.2\text{mm}$ の精度が得られた。また、この変位計は、草葉による見通しの悪い条件での野外実験および実際の地すべり現場での実験の結果、併設した地盤伸縮計と同じ精度の計測値と安定性が得られた。

**Key Words :** non-point of contact type , diffusion laser beam , rock displacement , precision comparison

## 1. はじめに

道路や河川を中心とした防災や災害対策、維持管理などにおいては、自然斜面や構造物などの変位観測や監視を行うことが多い。従来の計測方法は、例えば、構造物を対象とした場合は光波測量機器などを用いて定期的に観測を行い、地すべり移動体を対象とした場合はインバー線を引いた地盤伸縮計などが用いられている。しかし、移動点と固定点が離れたケースや、計測器が交通や生活などに支障をきたす場所などでは、従来方式での計測が難しい場面も少なくなく、このような条件下でも観測可能な非接点式による計測技術が求められている。

そこで、我々は非接点式による計測技術の研究の一つとして、直径および広がり角の大きいレーザー光線を用いた変位計を開発し、室内実験場と野外実験場および実際の地すべり現場においてその実用性を検証する実証実験を行い、接点式の計測器である地盤伸縮計との比較を行った。

## 2. 拡散レーザー変位計

### (1) 拡散レーザー変位計の概要

一般に使用されているレーザー計（ビーム径：直径6mm）は、計測精度や分解能をあげるために出力を高める一方で、人体(特に眼)への影響が懸念され、現場では採用されないことがある。そこで、レーザーの出力を高めずに人体への影響を少なくし、かつ、雨、雪、粉塵などの影響を受けにくくするため、直径および広がり角の大きいレーザー光線を用いた変位計（以下、拡散レーザー変位計）を開発した<sup>1)</sup>。また、市販のレーザー計類は数百万～数千万円と高額であるが、拡散レーザー変位計は地盤伸縮計などと同等のコストを目指して開発を進めている。

計測方法は、拡散レーザー変位計から投光された光を反射板で反射し、レーザー光線の照射波と反射波の位相のずれから基線長(レーザー発振部と反射板の距離)を計測する。また、計測を連続的に繰り返すことにより、計測値の信頼性も向上させている。

拡散レーザー変位計システムの外観を写真-1、原理概念図を図-1に示す。



写真-1 拡散レーザ変位計システムの外観

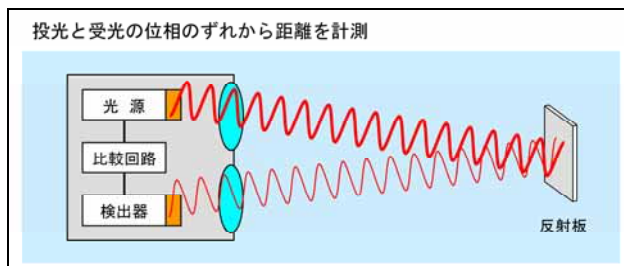


図-1 拡散レーザ変位計の原理概念図

また、拡散レーザ変位計の仕様は次の通りである。

#### レーザ部

光源：半導体レーザ  
出力：1mW 以下（クラス2レーザ製品）  
ビーム径：直径 50mm  
発光時間：4 秒以下

#### 計測部

測距方式：位相シフト方式  
計測範囲：2m ～ 100m（但し、調整は必要である。）  
計測分解能：0.1mm  
計測間隔：1 秒 ～ 12 時間で任意

#### 電源部

電源：DC6 ～ DC12V  
消費電力：1.0W(投光時)0.1W(待機時)

#### その他

外形：400 × 240 × 120mm  
重量：4kg  
外部通信：RS232C

#### 反射板

外形：300 × 300mm  
素材：高輝度反射シート（交通標識用に加工を加えたもの。）

## (2) 拡散レーザ変位計の特徴

地盤伸縮計などの従来の接点式計測に対し、拡散レーザ変位計の主な利点は次の通りである。

- a) 設置や移設が容易である。
  - ・ 本体と反射板のみの簡単な機器構成。
  - ・ 投光方向と反射板の移動で位置を変更可能。
- b) 設置場所を選ばない(但し、見通しは必要である。)。
  - ・ 道路や谷間を横断する方向への設置も可能。
  - ・ 上下方向に離れた場所でも設置が可能。
- c) 拡張性が高い。
  - ・ 測定距離は 2m ～ 100m まで可変(但し、調整は必要である。)
  - ・ 測定間隔は 1 秒 ～ 12 時間まで可変。
  - ・ 複数台の使用による多点計測への拡張。

## 3. 室内実験方法と結果

拡散レーザ変位計の計測精度を求めるため、室内において計測実験を行った。計測実験の設置概要図を図-2 に示す。



図-2 室内実験における計測システムの設置概要図

測定条件は、測定分解能を 0.1mm、1 回の測定時間を 1 秒以下とし、4 回の連続測定の平均を計測値とした。基線長（レーザ発振部と反射板の距離）は約 10m、20m、50m の 3 パターンとし、参考として計測範囲外の約 140m も計測した。計測は、初期位置から 1mm、5mm、10mm と強制的に反射板を移動し、各位置において計測を行った。

計測結果を表-1 に示すが、測定範囲内の基線長で行った場合、計測値は最大で強制変位の ±0.2mm の測定誤差となった。

## 4. 野外実験方法と結果

野外において計測対象が変位する時、拡散レーザ変位計の安定性と精度を求めることを目的として、写真-2 と図-3 に示す野外実験を行った。

野外実験では、地盤伸縮計、拡散レーザ変位計およびノーマルレーザ変位計(ビーム径：直径 6mm)の 3 種類の計測器を用い、同一の計測対象(図-3 の反射板)の変

表-1 室内精度実験結果(単位 mm)

| 基線長<br>(m)     | 測定回数<br>(回) | 初期位置      | 強制変位 1mm  |     | 強制変位 5mm  |     | 強制変位 10mm |      |
|----------------|-------------|-----------|-----------|-----|-----------|-----|-----------|------|
|                |             | 測定値       | 測定値       | 変位  | 測定値       | 変位  | 測定値       | 変位   |
| 約 10m          | 1           | 10,089.5  | 10,088.4  |     | 10,084.5  |     | 10,079.5  |      |
|                | 2           | 10,089.2  | 10,088.2  |     | 10,084.3  |     | 10,079.6  |      |
|                | 3           | 10,089.4  | 10,088.2  |     | 10,084.5  |     | 10,079.6  |      |
|                | 4           | 10,089.3  | 10,088.1  |     | 10,084.6  |     | 10,079.5  |      |
|                | 平均          | 10,089.4  | 10,088.2  | 1.2 | 10,084.5  | 4.9 | 10,079.6  | 9.8  |
| 約 20m          | 1           | 20,207.8  | 20,206.9  |     | 20,203.2  |     | 20,197.7  |      |
|                | 2           | 20,207.9  | 20,206.9  |     | 20,203.1  |     | 20,198.1  |      |
|                | 3           | 20,207.9  | 20,207.1  |     | 20,203.1  |     | 20,197.9  |      |
|                | 4           | 20,207.8  | 20,207.0  |     | 20,203.1  |     | 20,197.8  |      |
|                | 平均          | 20,207.9  | 20,207.0  | 0.9 | 20,203.1  | 4.8 | 20,197.9  | 10.0 |
| 約 50m          | 1           | 51,437.4  | 51,438.3  |     | 51,442.2  |     | 51,447.1  |      |
|                | 2           | 51,437.3  | 51,438.3  |     | 51,442.2  |     | 51,447.2  |      |
|                | 3           | 51,437.4  | 51,438.4  |     | 51,442.3  |     | 51,447.2  |      |
|                | 4           | 51,437.4  | 51,438.4  |     | 51,442.3  |     | 51,447.2  |      |
|                | 平均          | 51,437.4  | 51,438.4  | 1.0 | 51,442.3  | 4.9 | 51,447.2  | 9.8  |
| 約 140m<br>(参考) | 1           | 136,840.6 | 136,841.1 |     | 136,844.8 |     | 136,850.1 |      |
|                | 2           | 136,840.1 | 136,841.1 |     | 136,844.8 |     | 136,850.1 |      |
|                | 3           | 136,840.2 | 136,840.8 |     | 136,845.0 |     | 136,850.2 |      |
|                | 4           | 136,840.1 | 136,840.9 |     | 136,844.9 |     | 136,850.2 |      |
|                | 平均          | 136,840.3 | 136,841.0 | 0.8 | 136,844.9 | 4.6 | 136,850.2 | 10.0 |



写真-2 野外実験における計測システムの外観

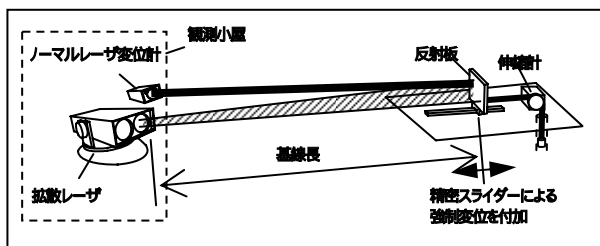


図-3 野外実験における計測システムの設置概要図

位を同時に測定した。基線長は約 50m とし、測定間隔は全計測器とも 1 分毎に計測を行った。反射板は 5 分～10 分間隔で移動変位を与え、1 回当りの変位量を約 20mm とした。移動変位の方向は反射板が遠ざかる方向へ 4 回(計 80mm)移動させた後、逆方向にも変位させ、それを 1 サイクルとして連続的に行った(サイクル A)。また、反射板の前に背の高い草をおき、意図的に見通しがやや悪い状態を作って同様の計測を試みた(サイクル B)。

各計測結果はグラフへ整理し、その一例を図-4 に示す。変位発生の時間差は、計測器の内部時間のずれに

よるものである。サイクル A およびサイクル B の計測値を見ると、拡散レーザ変位計と地盤伸縮計の変位には相違が殆どなく、同程度の計測精度であると判断される。また、サイクル B は草により見通しを悪くしたため、ノーマルレーザ変位計にデータの欠測が見られたが、拡散レーザ変位計にはデータの欠測もふらつきも確認されなかった。これは、拡散レーザ変位計の特性である大きなスポットのレーザ光線と繰り返し計測の効果が発揮されたものと考えられ、計測の安定性も地盤伸縮計に劣らない計測状態が得られたと判断できる。

また、図-4 の計測時間帯は、レーザや反射板に太陽光が直接当たる朝と夕であるが、その影響も確認されなかった。

## 5. 地すべり観測への適用例

### (1) 地すべり現場概要

計測対象斜面は、幅 150m、長さ 135m の明瞭な馬蹄形を呈する地すべりの一部である小ユニット(幅 30m、長さ 70m)が滑動した箇所である(図-5)。滑動した小ユニットの頭部は道路にあたり、道路舗装面に段差を伴う変状が現れた。

この地すべりの動態観測を行うにあたり、地すべり頭部の道路舗装面に地盤伸縮計を設置する必要があったが、車両の通行の妨げとならないように地盤伸縮計を地すべり滑動方向に設置することが困難であったため、拡散レーザ変位計による動態観測を行った。

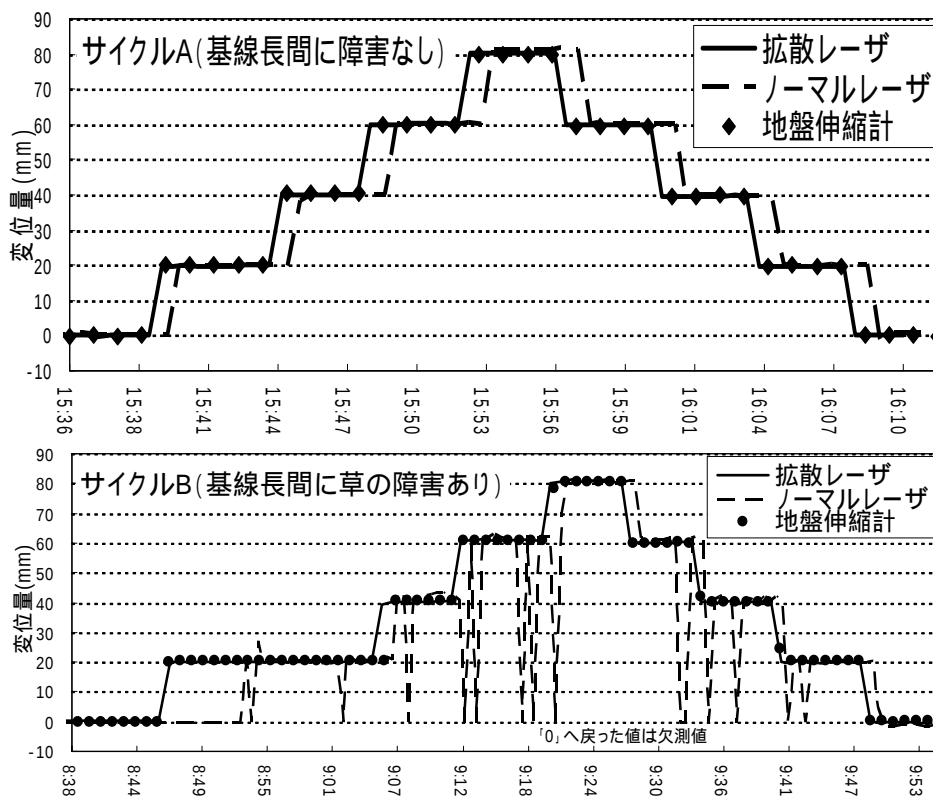


図-4 野外実験における地盤伸縮計，拡散レーザ変位計およびノーマルレーザ変位計の計測結果

拡散レーザ変位計は道路を挟んで山側の切土のり面に設置し，反射板は滑動した小ユニットの頭部に設置した．計測基線方向は推定される地すべり滑動方向とし，基線長は67mである（図-5，写真-3）．

なお，反射板は地すべりの変位によって反射板が移動し，投光ビームが反射板から外れることを避けるため，室内実験や野外実験で使用した 300×300mm よりも大きくし，600×600mmとした．

また，計測精度の比較のため，地すべり滑動方向とは斜交する方向ではあるが，地盤伸縮計を車両の通行の妨げとならないように基線長12mで設置した（図-5，写真-4）．



写真-3 拡散レーザ変位計設置状況

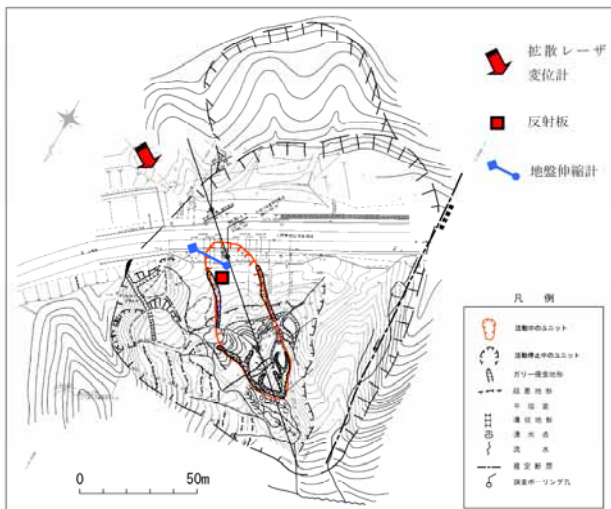


図-5 設置箇所平面図



写真-4 反射板と地盤伸縮計設置状況

## (2) 拡散レーザ変位計と地盤伸縮計の比較

計測は 2005 年 6 月中旬～7 月末の約 1 ヶ月半行った．なお，定点観測の結果，この期間の道路舗装面の亀裂幅は 30mm 拡大している．

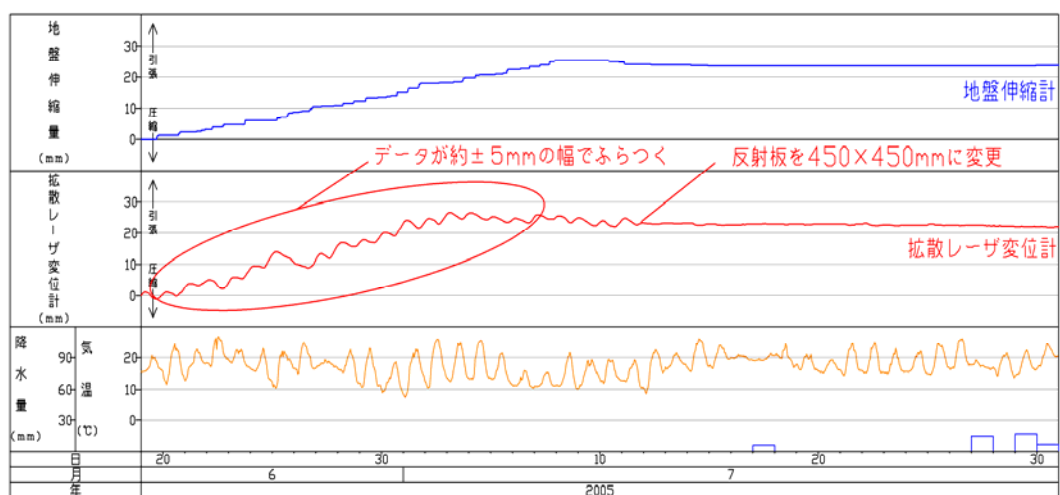


図-6 拡散レーザ変位計と地盤伸縮計の比較

計測結果は図-6 のようにグラフへ整理し、計測値を比較した。その結果、拡散レーザ変位計と地盤伸縮計の変位はどちらも観測開始から約3週間の期間に引張方向に約25mm拡大しているが、拡散レーザ変位計の変動グラフを見ると観測開始時よりデータが約±5mm程度の幅でふらついていることがわかった。この現象は室内実験や野外実験では現れなかった。

そこで、7月11日に反射板の大きさを450×450mmに小さくしたところ、ふらつきがほぼなくなり、地盤伸縮計と同じ精度の計測値となった。この観測値のふらつきの原因は、反射板の大型化の影響、支柱の温度変化の影響、外乱光の影響などが想定されるが、現時点では解明にはいたっていない。

反射板を小さく変更した後の観測値は一定となり、拡散レーザ変位計で23.0mm、地盤伸縮計で23.7mmとほぼ同じ値を示した。

上記観測結果から、拡散レーザ変位計は実際の地すべり現場で基線長67mの条件において、反射板の大きさを450×450mm以下にすれば、地盤伸縮計（基線長12m）とほぼ同程度の計測精度が得られたと判断される。

また、グラフに見られるように、降雨や通行する車両の影響は計測値には現れなかった。しかし、今回は観測期間が夏期であったことから、今後は降雪や低温時の影響を把握するため、冬期の計測を行う必要があると考えている。

## 6. おわりに

計測対象が一次元方向に変位する事象に対し、拡散レーザ変位計は地盤伸縮計とほぼ同じ計測精度と安定性が得られ、地すべりなどの滑動に対する計測技術として有効であることが判明した。また、野外実験では50m、実際の地すべり現場では67mの基線長で計測を行ったが、この距離は地盤伸縮計などの接点式計測では一般的に設置が困難な距離であり、この点では非接点式計測の優位性も確認されたと言える。

また、道路舗装面を頭部とする地すべりなどの悪条件下における動態観測手法としても有効であることが確認できた。

しかし、本実験は年間を通じて実施していないため、今後は反射板の仕様の適正条件や四季特有の気象条件における影響度など、長期間計測の精度と安定性について実証実験を更に続ける予定である。

謝辞：本稿を取りまとめるにあたり、北見工業大学工学部土木開発工学科前田寛之教授には様々なご助言を頂いた。ここに感謝致します。

## 参考文献

- 1) 納谷 宏, 植松 聡, 溝上雅宏, 増成友宏, 浅利晋一郎, 清水 則一: 非接点式による計測技術の研究, 第44回(平成17(2005)年度)日本地すべり学会研究発表会講演集, pp. 303-306 2005.

# RESEARCH OF THE MEASUREMENT TECHNOLOGY BY THE NON-POINT-OF CONTACT TYPE

Development on the Displacement Sensor with Diffusion laser beam  
----Experiments of Precision Comparison with Ground Surface Extensometer ---

Hiroshi NAYA, Masahiro MIZOKAMI, Shinitirou ASARI, Tomohiro MASUNARI,  
Norikazu SHIMIZU

We develop the displacement sensor with diffusion laser beam to measure the displacement of the ground or the structures on dangerous landslide slopes or rapid cliffs. The experiments for verifying the accuracy are conducted. The laser with scattering spot light and low output is used in the developed displacement sensor. As the results of the laboratory experiments, for 50m long baseline with 10mm forced displacement, the accuracy of  $\pm 0.2\text{mm}$  is arrived. Furthermore, the results of the same precision value and stability as those with the ground surface extensometer what is established as an annex are obtained in the field experiments under the low visibility condition due to grass and the actual landslidesite.