

# On Site Data Visualizationの概念と岩盤工学における適用可能性について

芥川真一<sup>1\*</sup>・野村 貢<sup>1</sup>・山田浩幸<sup>2</sup>・片山辰雄<sup>3</sup>

<sup>1</sup>神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

<sup>2</sup>株式会社 鴻池組 大阪本店 土木技術部 (〒530-8517 大阪市北区梅田3-4-5)

<sup>3</sup>株式会社 環境総合テクノス (〒541-0052 大阪市中央区安土町1-3-5)

\*E-mail: cadax@kobe-u.ac.jp

OSV(On Site Data Visualization)は従来の計測と危険予測における複雑でコストのかかる判断プロセスを行わず、その場で安全および危険情報を表示する概念である。

地盤、岩盤工学における諸問題においてOSVを実現するため、光デバイスの持つ情報発信の多彩さに着目し、LEDS(Light Emitting Deformation Sensor)を開発した。このLEDSは使用方法によりさまざまな状態表示が可能であり、幅広い適用性を持つものである。ここでは、OSVの概念に加えてLEDSの基本性能を確認する実験とともに現地適用例のいくつかについて述べる。

**Key Words :** OSV, LEDS, Risk communication, self-help, Public-aid

## 1. はじめに

日本における自然災害による死者・行方不明者数は、1940～1960年代には死者・行方不明者数1,000人を上回る大災害が頻発していたが、1960年代後半から著しく減少、6,000人超の死者を生じた阪神・淡路大震災(1995)を除くと、この20年間では数10名～数100名となっている。

土砂災害による死者・行方不明者数はそのなかでも多く、土砂災害を防止、抑制する対策は毎年多くの予算が投じられ各地で実施されているが、限られた社会資本投資のなかではその全てに対応するのは困難な状況にある。すなわち、依然として防災施設整備が追いつかず安全確保されていない箇所が多数存在し、さらに災害発生時の円滑な住民避難等が困難な状況にある。

このため、特に対策を要する重点箇所の整備や自助、共助、公助による安全かつ確かな警戒避難体制の整備等のハード・ソフト両面での対策が推進されている。

自助を意識した災害のソフト対策の基本的行動は自律的な避難、被災回避であり、それにはさまざまなリスクが伴っている。また自助による被災回避を支援する公助という立場から、効果的かつ経済的なリスクコミュニケーションの手法が求められている。

本論では、新しいリスクコミュニケーションの概念としてOSV(On Site Data Visualization)を提案し、その具体的

なツールと適用可能性について報告する。

## 2. 自助のリスクコミュニケーション

### (1) 自助のリスク

最も基本的な自助とは自力の避難、被災の回避とその後の救援までの自力生活を意味すると理解できる。この場合の自助におけるリスクとは以下のようなものが考えられる。

- ① 事前情報が不足して危険認識されていない
- ② トリガーの地点現在情報が提供されない
- ③ 危険斜面の現在情報が提供されない
- ④ 避難情報が遅れる、届かない
- ⑤ 避難経路情報がない、または貧弱
- ⑥ 避難経路が危険、避難場所が危険
- ⑦ 避難場所の施設、生活環境が貧弱

2009年7月に山口県で発生した土石流災害では危険認識があったにもかかわらず、ハザードマップが作成されていない地域が被災した。さらに行政が豪雨の対応に追われ、避難勧告が遅延しているうちに災害が発生してしまい、上記①～④のリスクが顕在化した。また8月の台風9号による豪雨では避難途上の住民が被災するということが起き、⑤⑥のリスクも現実のものであることが明らかとなった。

## (2) 公助のリスクコミュニケーション

行政の防災行動にはハード的対応とソフト的対応があり、ハード的対応とはハザードの発生を防止するような行動であり、達成後はリスクフリーとなる対応である。一方、ソフト的対応とは避難、交通の事前規制などにより人的被害が出ないようにすることや交通のリダンダンシーを確保し、長期に渡る交通損失が生じないようにすることと理解される。

すべてのハード的対応が完了すると、発災せずリスクフリーであるからソフト的対応は不要になるはずである。しかし、防災投資が制約下にあるなかで中短期的には自助とそれを支える共助・公助に多くを頼らなければ人的被害の最小化は困難である。ここに共助、公助による自助とのリスクコミュニケーションの必要性が認識される。

## 3. OSV(On Site Data Visualization)の概念

OSV(On Site Data Visualization)は、観測結果を外部に設けた判断プロセスを経由することなくその場で危険度として外部表示するシステム・概念である。OSVは、変位センサーである観測機器に外部表示装置を取り付けることにより、その場で変位が危険なレベルに達しているのか、まだ余裕があるのかを直接市民、道路利用者といった第三者に告知する。

従来手法では、観測機器で変位や応力、ひずみを計測すると、そのデータは現地もしくはいくつかの観測地点を集約した計測室に多心ケーブルなどにより伝送される。データは電話回線や光ファイバー網を介して管理事務所に送信され、ここでは気象情報や道路網に関する情報などさまざまな情報が集約されており、管理者はそれら全体を俯瞰しながら最適と考えられる判断を行う。

判断が行われると、避難情報や道路規制情報として広報されるとともに、危険地域などに放送やサイレン、テレビ画像などにより緊急避難情報あるいは通行規制情報として告知される。それとともに関係行政機関に連絡され、避難支援などの公助措置が採られることになる。

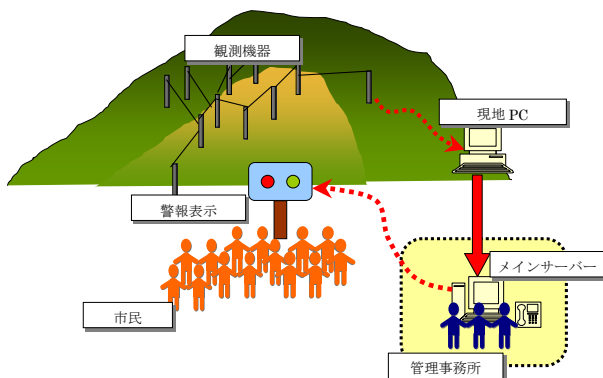


図-1 斜面防災における従来の警報システム

従来手法の判断プロセスは刻々と危険な状況が変化しつつある現地ではなく、遠隔地の管理事務所で行われる。これは避難や通行規制には、多面的な情報を得た高度な判断が求められるためであるが、このような観測・警報システムは、計測装置から管理事務所の判断システムまでの伝送費、判断のための支援コンピューター、モニターなど多額の費用がかかっている。

一般的な地すべりの観測では、観測値を管理者が確認後、防災無線や放送により避難を促すシステムが多く、危険情報の観測から警報までのタイムラグ、誤認、情報亡失(途絶)が起きる可能性を否定できない。また、災害発生に情報伝達が間に合わないことも考えられる。

OSVは、観測結果をその場で表示することを基本とする。表示には予め定められた、あるいは調整された危険度の判定とそのレベルを表示する機能を持たせるので、情報の伝送や管理者の臨機の判断を経由することなく利用者に危険情報を告知することができる。

OSVは従来手法による観測システムに比較して伝送費、サーバー費などが不要な分、安価に防災システムを構築できる利点がある。さらに自律的に危険信号を発するので、管理面でも大きくコストを縮減することが可能である。これは防災対策費用が一定であれば、予算不足で観測ができなかった危険地域に対して新たな観測を可能とすることを意味しており、今まで観測未設置であったために不測の土砂災害に襲われて失われていた多くの人命を救う可能性を持つものであるといえる。

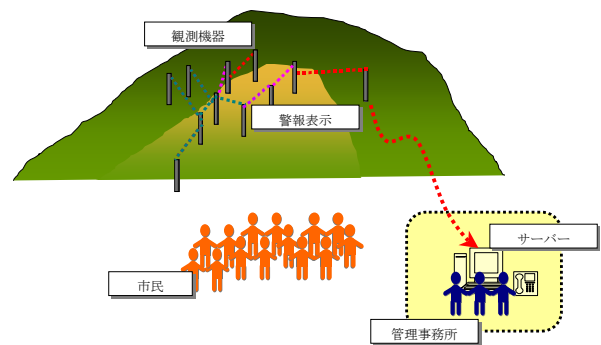


図-2 斜面防災におけるOSVの警報システム

## 4. OSVを実現するツール

### (1) LEDS(Light Emitting Deformation Sensor)

OSVを実現するためには、簡易で表現力豊かなデバイスを開発することが必要である。土砂災害を例にとると初期に変位する部分は崩壊の頂部近くにあり、斜面下の土地利用者は距離があるため、変位計を直接読み取るとはできない。したがって、何らかの表示デバイスを用いて危険の存在と程度を遠方に伝達する必要がある。

そのような場合に光は遠望も効き表現力も豊かな表示

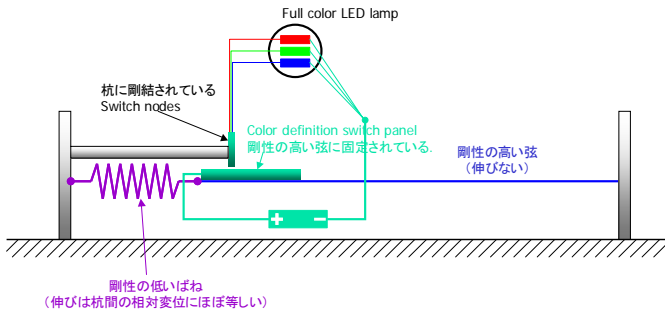


図-3 LEISの基本システム

方法となる。一般的に青は安全、赤は危険を表現するというのは世界共通で信号機等に用いられている識別であり、感覚的にも馴染みやすいものとなっている。これを活用し、カラーLEDを用いた光デバイスに変位計などを取り付け、OSVの基本ツールとして開発を行った。

LEDS(Light Emitting Deformation Sensor)は、さまざまな地盤、岩盤挙動のうち、軸方向変位を観測、表示するツールとして開発したものである。

フルカラーLEDは、青・緑・赤の3色を同時に発することができ、それぞれの電流量を調節することで、3色の度合いを調整することが可能で、組み合わせによりあらゆる色を点灯させることができるデバイスである。

LEDSの変位スイッチはそのストロークと発色を自由に設定することが可能である。図-4に白色を含め7色表示で常時（白色）から伸び、縮みそれぞれ5mm×3段階で表示を行うパターン例を示す。

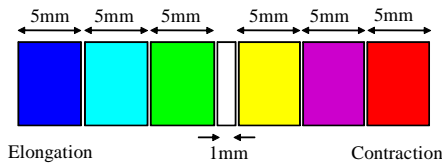


図-4 LEISの光色と変位セッティングの例

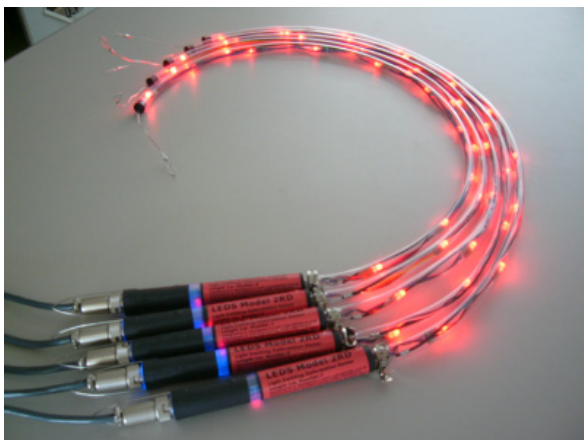


写真-1 LEISの基本外観

(2) LEIS(Light Emitting Inclination Sensor)

LEIS(Light Emitting Inclination Sensor)は傾斜挙動とその方向を観測、表示するツールである。

岩盤斜面の崩壊を観測するには、剛体ブロックの軸方向変位とともにブロックの傾きを把握することが重要である。傾斜測定方法には、振り子や液圧変化などさまざまな測定方法が考えられ、これと表示デバイスとしてのLEDを組み合わせることによりLEISを実現することができる。LEISとして完成させた基本システムは図-5となる。

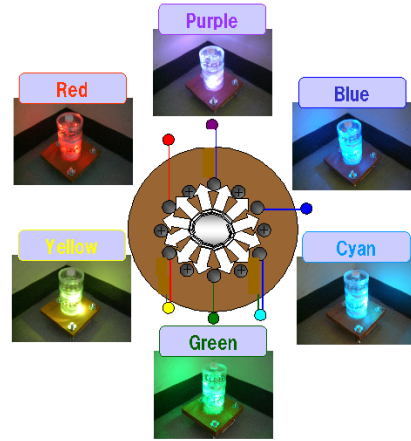


図-5 LEISの基本システム

4. 適用性検証

(1) LEISの適用性検証

a) 単一剛体ブロックの移動

写真-2のように、縦180cm、横90cmのパネルを用意し、それらを鉛直方向から30°傾かせた状態で固定、左から順に、測点A、B、C、Dとする。それらの間に変位計（LEIS）を設置し、左から順に、変位計1、2、3とする。ここで、各色のレンジは、白から他の色に変化する際のみ1mmで、他の色の間は10mmとした。

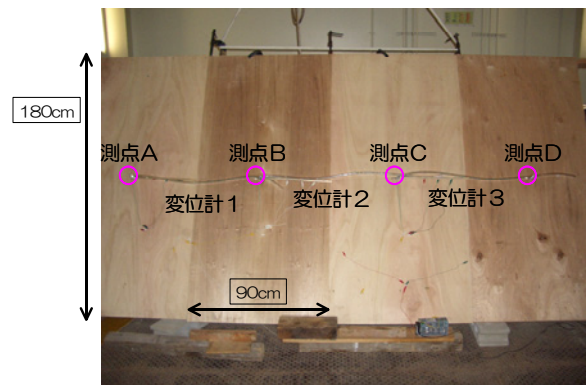
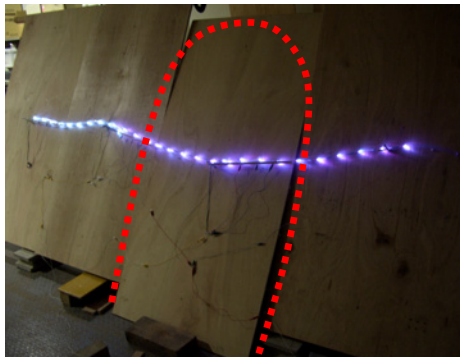


写真-2 室内実験斜面の概要

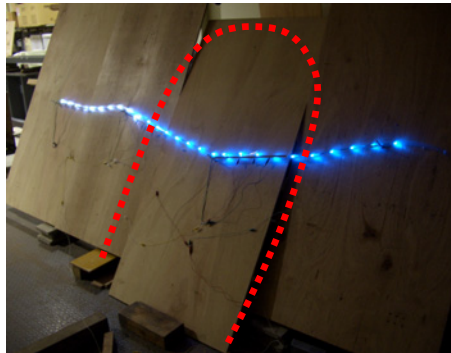


図-6 室内実験におけるLEISのセッティング





(a) purple color/12.6mm



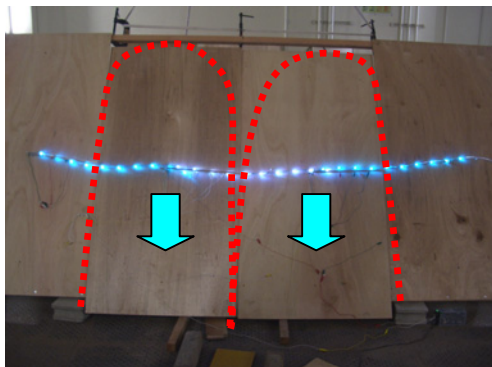
(b) blue color/35.4mm

写真-3 単一剛体ブロックの移動実験

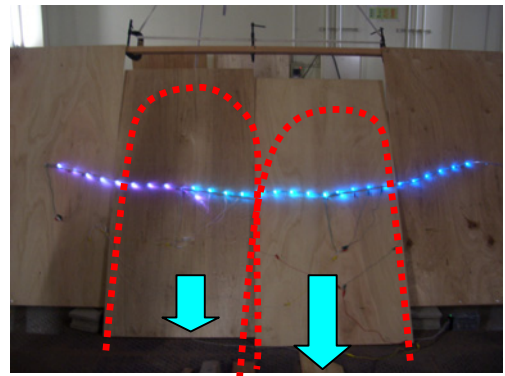
測点Cを設けたパネルを、斜面方向に50mm移動する。このとき、剛体移動したものとすると変位計2, 3は1.4mm伸びることになる。結果、変位計は水色に変化した。次に測点Cを50mmスライドさせ、変位量を100mmとすると変位計は合計12.6mm伸び、表示色は紫色になる。

### b) 複数剛体ブロックの並行移動

次に複数の剛体ブロックが移動した崩壊をモデル化する。測点B, Cを50mmスライドさせると変位計1, 3が水色に変色する。測点Bをさらに50mm, Cを100mmスライドさせると変位計1が紫, 2が水色, 3が青に変色した。本実験により、単独または連動して剛体ブロックが移動するような場合でも各ブロックの移動量および移動量に差が生じていることを表現できることが確かめられた。



(a) Synchronized move



(b) Individual move

写真-4 複数剛体ブロックの移動実験

### c) 複数剛体ブロックの独立した移動

写真-5は、崩壊が予想される斜面に対して多測線を配置して全体の挙動を検出しようとするモデルである。

左右のブロックが時間差移動する場合を考える。まず左ブロックが移動を始めると左ブロックと結ばれた各測線は伸びのモードとなるが、測線4のみ縮みのモードとなる。右ブロックは移動していないことが判る。

次に右ブロックが移動を始め、左ブロックと同じ移動量となった段階を(b)に示す。ブロック間の相対変位は解消されたので、左右ブロックに固定点を持つ測線は白色に戻る。一方、右ブロックと不動地山の間には変位が生じるため、伸びモードでの発色変化となっている。

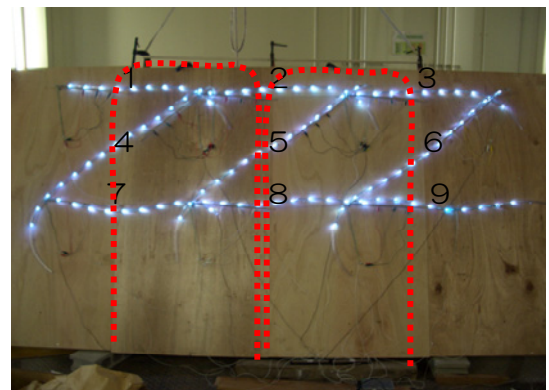
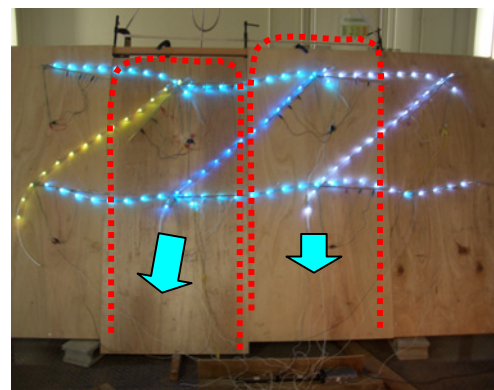
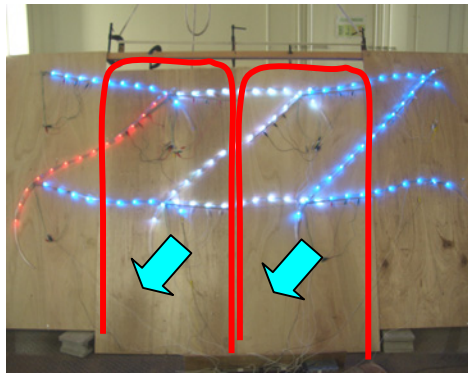


写真-5 複数剛体ブロックの移動実験モデル(2)



(a) Step1



(b)Step2

写真-6 複数剛体ブロックの移動実験(2)

## (2) LEISの適用性検証

斜面管理においてLEISが機能することを検証するため、土槽の壁面を主動側に移動させて傾きの変化を検出する実験を行った。

壁面を段階的に動かすことによって得られた結果を写真-8に示す。段階的に壁面を移動していくと亀裂が大きくなり、それに伴って発生した傾斜を1段階目ではc・dが、2段階目ではeも感知して発光したことが分かる。また亀裂を境界線として、a・bを配置した側は傾斜せず、c・d・eを配置した側だけ傾斜するという結果になり、この結果を反映するようにa・bは発光しなかった。

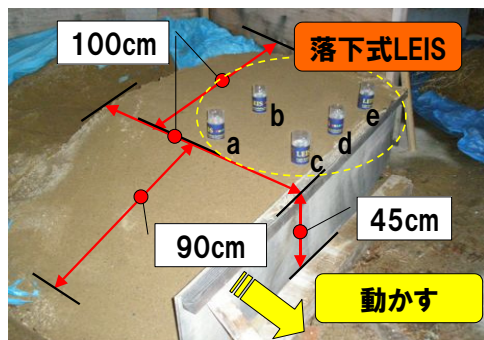


写真-7 土槽実験によるLEISの適用性確認

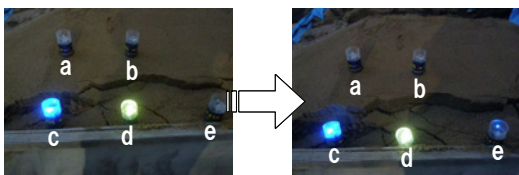


写真-8 土槽実験によるLEISの適用性確認結果

## 5. 現地適用性検証

### (1) 山岳トンネル切羽における現地適用

適用したトンネルは土被り300mを越える土被りで地山は蛇紋岩であるため、大規模な補助工法の導入が実施されており、作業時の安全確保が重要な課題であった。

掘削直後の地山の変化（初期変位）を目視確認し、作業時の安全性の向上に役立てるためにLEISを採用した。

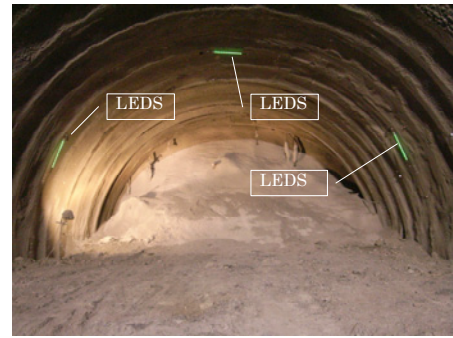


写真-9 LEISによる切羽変形観測例（初期値：緑色）

LEISを適用した結果、色の変化により、変位が予め定めた管理値に到達したことの認知が可能になった。

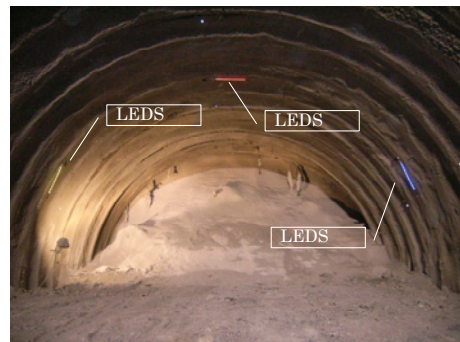


写真-10 LEISによる切羽変形観測例  
（天端：赤色、左側壁：黄色、右側壁：青色）

### (2) 山岳トンネル坑口斜面における現地適用

適用した斜面はトンネル坑口部に長大法面が近接し、法枠工やアンカー工が施工されていた。トンネル施工で長大法面の法尻を掘削することの緩みに伴う斜面への悪影響が懸念されたため、LEISの適用を試みた。

LEISの採用により夜間であっても光の色で斜面の安定性を目視で確認できるため、常時動態監視と同様の効果を簡易な観測により得ることが可能になった。



写真-11 LEISによる坑口斜面監視適用現場の状況



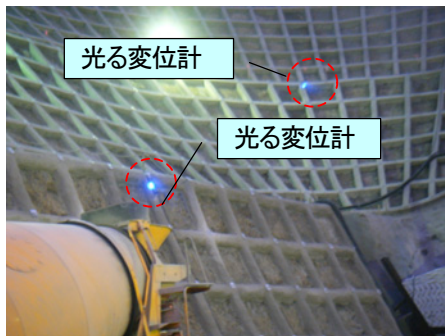


写真-12 LEDSによる坑口斜面監視適用現場の状況(1)



写真-13 LEDSによる坑口斜面監視適用現場の状況(2)

なお、この現場では坑内に入坑する際のLEDS確認を容易にするため、発光部分を2系統作成し1系統を坑口に表示することにより安全性向上を図っている。

## 6. まとめ

LEDSは簡易な構造により変位を光により可視化するツールである。OSV概念はLEDSを基本ツールとした多様なツールの開発により従来の計測ではコスト的に困難

であった多点同時観測、面的把握を可能にする。

さらにタイムロスなしに斜面近傍に住む住民あるいは道路利用者などに警報を発することを可能とするものであり、公助による情報提供が未完成な地域あるいは情報伝達の途絶により危険に曝される地域の住民や道路利用者にとっては、自助的活動を支援する有効なツールとなり得るものである。

現在、LEDSは初期開発を終え、多くの現場に適用しつつ新しい計測方法の実験と手法の確立を図っているところであり、OSV概念とともに普及を図っていく予定である。

謝辞：本研究およびOSVの現地適用実験にあたり試験設置する現場をご提供頂いたNEXCO東日本株式会社に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 防災白書 平成17年度版、平成20年度版、21年度版
- 2) 芥川真一:特願 2007-130679 光の色による自然及び人工構造物の変状原位置表示装置, 2007.5.
- 3) 芥川真一, 高野晃佑, 竹中嗣人: 相対変位を光の色に変えて表示する装置の開発と斜面変位モニタリングの一例, 平成19年度土木学会年次学術講演, 広島, 3-015, pp.29-30, 2007.9
- 4) Shinichi AKUTAGAWA and Shoya MORI Development of new deformation sensors for monitoring of infrastructures, Proceedings of the EIT-JSCE Joint Seminar on Rock Engineering, September 16-17, Bangkok, 2008.
- 5) Mitsugu NOMURA and Shinichi AKUTAGAWA Development of a Disaster Information System Using a Light Emitting Device, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> WFEO-JFES-JSCE Joint International Symposium, pp.63-70, September 3, Fukuoka, 2009.

## DEVELOPMENT OF A SAFTY INFORMATION SYSTEM WITH A CONCEPT OF ON SITE DATA VISUALIZATION USING LIGHT EMITTING DEVICES

Shinichi AKUTAGAWA, Mitsugu NOMURA, Hiroyuki YAMADA and Tatsuo KATAYAMA

OSV (On Site Data Visualization) is a system concept for providing safty information on site without the need for complex and costly judgment process which usually involves long-haul transmission of observation results and decision making at data centres. As part of efforts to promote utilization of OSV, the authors of this paper developed a device using LED for displaying relative offset in colour of light (LEDS&LEIS). Compared to conventional methods, the safty management method using LEDS&LEIS is more cost effective and straightforward, thus enabling the authorities to execute sediment control practices in many areas at risk of safty that have not been under control due to funding constraints.