

計測結果見える化技術（OSV）の現場適用とその効果に関する一考察

株式会社 鴻池組 土木事業本部 技術部 正会員 ○山田 浩幸
神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 正会員 芥川 真一

1. はじめに

計測結果見える化技術（OSV：On Site Visualization）とは、従来の計測システムと危険予測における課題の1つである「複雑でコストのかかる判断プロセス」を行わず、現地で安全および危険情報を表示する概念である。これまで、「計測結果見える化技術」として光る変位計（LEDS：Light Emitting Deformation Sensor）や光るデータコンバータ（LEC：Light Emitting Converter）を開発し、工事現場における安全管理に適用してきた。本報告では、特殊条件下の山岳トンネル坑内や坑口部における安全管理および覆工コンクリートの圧力管理における適用事例を紹介した。さらに、OSV 技術の適用性とその効果に関する考察を行うとともに、今後の展望について述べる。

2. OSV の概要

2.1 OSV の概念

OSV（On Site Visualization）とは、計測結果を外部の判断プロセスを経由することなく現地でリアルタイムに光の色の変化により危険度を表示するシステムである。OSV の適用により、写真-1 に示すとおり、変位の大きさに応じて発光色が変化するため、異常を早期に発見し、事故を未然に防止できる。これらの「計測結果の見える化技術」により、予め定められた危険度の判定区分と色の変化に基づき、「だれでも」、「いつでも」、「どこでも」自ら判断することができる。

このことにより、工事現場や災害発生箇所における安全確認を確実かつ比較的安価に実施することができる。

2.2 変位表示センサーLEDS の概要

現場に適用した OSV センサーの1つは、「光る変位計」、LEDS(Light Emitting Deformation Sensor)である（以下、LEDS と称す）。LEDS は、様々な地盤、岩盤挙動のうち、軸方向変位を観測、表示するツールである。

図-1 に光る変位計の基本システム（変位の測定と表示）を示す。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し、3色の度合いを制御することによりあらゆる色を点灯させることができる。

図-2 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。

なお、測定精度は、 $2\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ （単位：mm）である。

2.3 光るデータコンバータ LEC の概要

現場に適用した「光るデータコンバータ」、LEC（Light Emitting Converter）は、「任意の計測データを光の色に変える」装置である（以下、LEC と称す）。すなわち、計測センサーが取り込んだデータを、事前に設定した管理基準値の大きさに応じて異なる光の色として情報発信できるデータコンバータである。LEC を任意の計測装置（ひず



写真-1 光る変位計発光状況

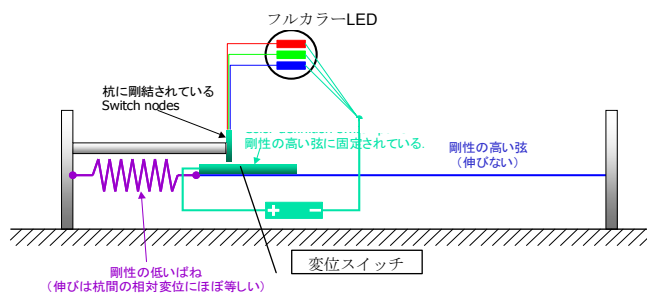


図-1 光る変位計の発光色と変位セッティング例^{1),2)}

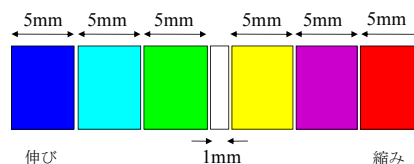


図-2 光る変位計の基本システム^{1),2)}

キーワード On Site Visualization, 光る変位計, 光るデータコンバータ, 計測管理, 安全管理

連絡先 〒541-0057 大阪府中央区北久宝寺町 3-6-1 (株)鴻池組 土木事業本部 技術部 TEL 06-6245-6594

み計、変位計、圧力計、コンクリート応力計、温度計、水圧計など）とペアで用いることにより、それらの計測装置が取り込んだデータを事前に設定した管理基準値の大きさに応じて異なる光の色として情報発信できる。

また、メモリーカードの使用により、データを記録することもできる。なお、測定精度は接続する計測装置に依存する。写真-2にLECの発光状況を示す。

2.4 OSV 採用による効果

図-3 に OSV 技術を採用した場合の計測管理の流れ（Deformation から右回りで Citizen へ）を、通常の流れ（Deformation から左回りで Citizen へ）と対比して示す。

すなわち、これまでの計測管理においては、専門的な知識を有する管理者が計測結果を分析評価した上で判断し、必要な場合に警告していたために、避難までにタイムラグを生じていたが、OSV 技術を用いれば、これまでと異なり、現場での動きをその場所に光の色によって表示することができ、「だれでも」、「いつでも」、「どこでも」現状の把握することが可能となる。そのことにより、緊急時の迅速な対応が可能となるため、安全な作業環境を整備できる。

3. OSV 技術の現場適用

3.1 適用現場の概要

1 つ目の適用事例（穂別トンネル西工事）は、土被り 300m を超える大土被り脆弱地山において、切羽や変状部分における安全管理の目的で「トンネル用光る変位計」を適用したものである 2 つ目の適用事例（出流原トンネル）は覆工コンクリートの圧力管理に LEC を用いた事例である。

3.2 山岳トンネルにおける安全管理

(1) 現場概要

適用した穂別トンネルは全長 L=4,323m の山岳トンネル工事であり、その内、西側の延長 L=1,951m を NATM で施工した。本トンネルの特徴は、土被りの大きい区間（土被り 300m 以上）において写真-3 の様な蛇紋岩（塊状、葉片状）が出現し、200mm を越える大きな変位を生じるという特殊地山条件の下でのトンネル掘削であった。表-1 に工事概要を示す。



写真-3 切羽状況（蛇紋岩）³⁾



写真-2 LEC 発光状況

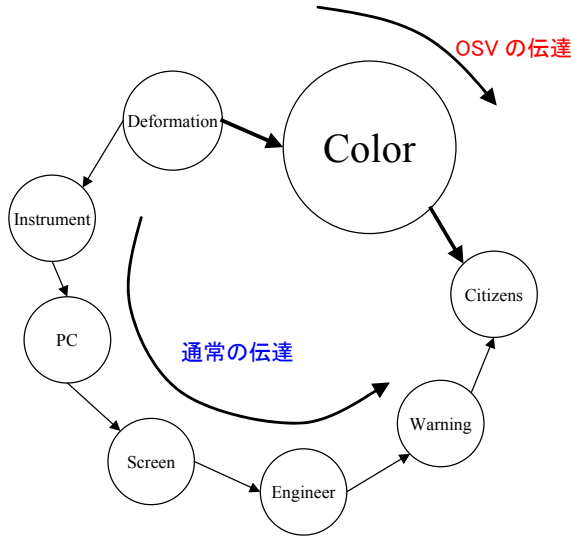


図-3 光る変位計による情報伝達プロセス¹⁾

表-1 工事概要³⁾

工 事 名 称	北海道横断自動車道 穂別トンネル西工事
工 事 場 所	北海道勇払郡むかわ町穂別長和
工 期	平成18年3月～平成21年3月（その1） 平成21年3月～平成23年10月（その2）
発 注 者	東日本高速道路株
施 工 者	鴻池・飛島特定建設工事共同企業体
工 事 内 容	延 長 L=1,951m（道路土工L=12m含む）
	断 面 掘削断面積A=85.0㎡（DⅠ）,130㎡（EⅡ）
	施 工 法 NATM
	掘 削 方 式 発破工法、機械掘削（EⅡ）
	掘 削 工 法 EⅠ、EⅡパターン（上半先進ベンチカット工法） （EⅡは最善管理型二重支保構造） CⅡ、DⅠ、DⅡ、DⅢパターン （補助ベンチ付き全断面工法）
	補 助 工 法 天端安定対策：長尺鋼管フォアボーリング（坑口） 長尺リング補強工（EⅡ） 注入式フォアボーリング 鏡面の安定対策：長尺鏡ボルト、核残し 長尺鏡補強工（EⅡ） 脚部の安定対策：脚部補強ボルト、仮ハート

(2)採用目的

本トンネルでは、特に初期変位（60～100mm/日）が大きく、掘削初期における安全管理が課題となっていた。

そこで、光る変位計を用いて初期変位（掘削直後から切羽離れ 1D（15m 程度））や支保の変状を管理することを目的とした（写真-4, 5）。

(3)施工上の課題

トンネルの標準工法である NATM では、掘削作業の制約から、支保構築後に測点を設け、地山の性状に応じて 10～30m 間隔で計測工 A（天端沈下、内空変位）や計測工 B（地中変位、支保応力測定）を実施して、その結果を参考にして施工を進めていくのが一般的である。しかしながら、現場における計測管理においては、以下のような課題がある。

①脆弱地山では、初期に大きな変形を生じ、地山崩壊に至る懸念がある

が、測点の設置が支保構築後となり、正確な初期変位を把握できない。

②自動計測以外の一般的な計測では、計測担当者（専門家）が事務所のパソコンでデータ処理し、評価するため、掘削直後の挙動の変化を切羽でリアルタイムに判断できない。

③計測工 B に関しては、設置費用が高価となるため、計測工 A のように頻繁には設置できない。

④切羽には作業に必要な照明はあるが、一般的には暗く、機械騒音が大きくいうえに、作業員は耳栓をしているため、通常の会話が困難である。

(4)OSV 採用効果

光る変位計を適用することで変位の現状を現場関係者が確認しながら作業できる環境を整備することが可能となることを確認できた。光る変位計の現場での適用効果は以下のとおりである。

①設置・撤去が容易であるため、掘削直後に切羽近傍で変位計測を再開できる。

②変位量に応じて色が変化するため、掘削直後の切羽の危険性を作業員が目視で直接確認でき、機械騒音が大きくコミュニケーションが困難な切羽作業時の安全性が飛躍的に向上する。

③初期設定により伸び、縮みどちらの変形についても対応することができる。



写真-4 切羽における設置状況 ³⁾



写真-5 変状部における設置状況 ³⁾

3.3 覆工コンクリートの圧力管理と応力測定

(1)現場概要

出流原トンネルは、トンネル線形が軟岩と軟弱な盛土（N 値 1～10 程度）、すなわち採石場で発生した鉱業廃棄物（脱水土：シルト）や採石場内の掘削残土盛土の境界を通るという特殊地山条件であった。トンネルの構造及び施工方法を検討するうえで、工期短縮の必要性と掘削時の切羽安定や地震時の耐震性が懸念された（写真-6）。設計では、数値解析を用いた構造の見直しや対策工の選定およびその効果について検討し、施工では対策効果を重視した地盤改良工の採用や施工性、品質確保に配慮して中流動覆工コンクリートを採用した。工事概要を表-2 に示す。



写真-6 トンネル施工状況 ⁴⁾

(2)採用目的

中流動覆工コンクリート打設時の作用圧力を計測管理しながら作業を進める情報化施工の必要性から光るデータコンバータ（LEC）を導入し、型枠に作用する側圧が設計耐力を超えないように作業員自らが判断できる「計測結果見える化技術」の推進を図った。

(3) 施工上の課題

中流動覆工コンクリートの施工では、その高い流動性から、打設速度が速い場合や、過剰な締固めによりコンクリートが液状化する場合には、型枠に作用する側圧が上昇し構造的な負荷が大きくなる可能性がある。また、覆工型枠に管理基準値を超えるような大きな変形を生じた場合には、工事の中断を余儀なくされ、コールドジョイント等の発生などによりコンクリートの品質の低下を招く懸念があった。

(4) OSV 採用の効果

施工では、全スパンにおいてコンクリートの側圧の測定を実施した。図-4 に測定結果の一部を示す。

図中の実線は各実測値を、破線は液圧分布で作用すると仮定し実際の打上り速度より計算した予測値である。測定された側圧値は打設量に応じて増加し、概ね 1 時間程度でピークとなり、その後は収束しており、設計荷重を超える液圧は作用しないことがわかった。写真-7 に LEC 設置状況を示す。今回、LEC を採用したことにより、効率的な情報化施工が可能となり、作業の安全確保と覆工コンクリートの品質向上が図れたものと考えている。

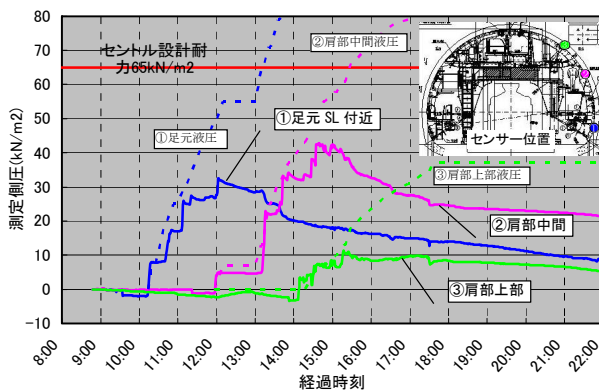


図-4 側圧測定結果（実施工）⁴⁾

工 事 名 称		北関東自動車道 出流原工事(出流原トンネル)
工 事 場 所		栃木県佐野市寺久保町～出流原町
工 期		2006.12.23～2010.11.19
発 注 者		東日本高速道路株式会社 関東支社
施 工 者		(株)鴻池組・(株)本間組・矢作建設工業(株) 特定建設工事共同企業体
工事内容	延長	上り線 L=279.0m
		下り線 L=188.0m
	断 面	・上り線：内空 A=68.7㎡，掘削 A=87.1㎡
		・下り線：内空 A=77.7㎡，掘削 A=98.5㎡
	施 工 法	NATM
	掘削方式	発破工法，機械掘削
	掘削工法	DⅢa、E-K ^{※1} パターン（上半先進ベンチカット工法） DⅠパターン（補助ベンチ付き全断面掘削）
補助工法	・深層混合改良	

注1) E-Kは耐震検討パターン



写真-7 中流動覆工コンクリート圧力管理状況⁴⁾

4. おわりに

今回、「計測結果見える化技術（OSV）」という新しい概念（計測＋表示）を紹介するとともに、実現場における「光る変位計：LEDS」および「光るデータコンバータ：LEC」の適用事例を示し、その採用効果について報告した。

今後ともトンネルなどの地下工事をはじめとし、斜面、橋梁などの明かりの工事においても光る計測装置を用いた計測システムの適用や検証を実施することで精度の確認や適用範囲についての検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 芥川真一，高野晃佑，森翔矢，金子勝，高木加乃：光る変位計の開発とその岩盤工学における適用の可能性について，第 37 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，pp. 427-432，2008.
- 2) Shinichi Akutagawa, Hiroyuki Yamada：Visualization of Tunnel Risks by use of Light Emitting Deformation Sensors, FIRST CHINA-JAPAN WORKSHOP ON TUNNELLING SAFETY & RISK, Aug. 28-29, 2009.
- 3) 山田浩幸，高橋俊長，大村修一，高田篤：大土被り蛇紋岩地山における最善管理型二重支保の設計と施工，土木学会 トンネル工学報告集，pp. 81-88，2009. 11.
- 4) 宮本武司，今井恵史，市川裕祐，山田浩幸：採石場跡地の軟弱埋戻し地山における山岳トンネルの設計と施工，第 66 回施工体験発表会，pp. 41-48，2010. 11.