

計測結果の見える化技術の現場適用と検証 — 名塩道路 八幡トンネル工事の施工事例 —

Measuring Result Visualization Technology On Hachiman Tunnel

山田 浩幸*1 大槻 文彦*2 木村 圭吾*2
Hiroyuki Yamada Fumihiko Ootsuki Keigo Kimura

要旨

名塩道路八幡トンネル工事の施工に際し、起点側坑口付けにおいて坑口斜面の切土掘削を供用中の中国自動車道に近接して実施する必要があった。切土の施工では、中国自動車道の既設法面を一部掘削することとなり、掘削による本線への影響が懸念された。計測項目に関しては、地すべり伸縮計に光る変位計 (LEDS: Light Emitting Deformation Sensor) および光るデータコンバータ (LEC: Light Emitting Converter) を適用し、傾斜計については現地にタブレット PC による表示と LEC を適用した。また、最上部の脆弱な土砂部に関しては、高速レーザー変位計 (DD センサー) を設置し、1 回/秒の非接触連続変位測定を実施した。さらに、地すべりの兆候を早期に把握する目的で鏡を用いた視覚的観測 SOP 法 (Single Observation Point) を適用し、TS による自動測定結果との検証を行った。

本報告では、掘削時の計測管理において適用した「計測結果の見える化技術」の適用事例の紹介とその効果に関する考察について報告する。

キーワード: 都市トンネル 山岳トンネル 近接施工 計測管理 情報化施工 計測結果見える化

1. はじめに

西宮市から宝塚市の国道 176 号は、歩道が未整備で異常気象時通行規制区間を有しながら、発展の著しい阪神北部地域と阪神都市圏を結ぶ役割を担っている。

名塩道路は幹線道路としての機能向上、安全確保を図るとともに、救急・救助活動の搬路として利用できる災害に強い道路を目指し整備するものである。そのうち、名塩道路八幡トンネル工事は、西宮市名塩南之町～東之町に至る延長 L=242m の山岳トンネルであり、用地の制約条件から超近接無導坑メガネトンネルの構造で計画されていた。

本報告では、八幡トンネル起点側坑口付けに伴う、切土掘削時に採用した新技術「計測結果の見える化技術」の適用事例の紹介と効果の検証結果について報告する。

が 2D 以下と小さい。そのうち、起点側坑口付けにあたっては、中国自動車道の既設法面を一部掘削することとなり、掘削による本線への影響が懸念された。

したがって、切土掘削時には、綿密な計測管理を行い、法面の挙動を把握しながら施工を進めるために、情報化施工を行った。表 1 に本工事の概要、図 1 に断面図を示す。うち、山岳トンネルである八幡トンネルの構造は、上下線の最小離隔距離が約 1m で近接した、超近接無導坑メガネトンネル構造となっている。

表 1 工事概要

工事名称	名塩道路 八幡トンネル工事	
工事場所	兵庫県西宮市塩瀬町名塩南之町地区～東之町地区	
工期	平成25年2月～平成26年12月	
発注者	国土交通省 近畿地方整備局	
施工者	株式会社 鴻池組	
工事内容	延長	L=288m (トンネル延長L=242m、上下線)
	断面	掘削断面積A=87㎡ (上り線) ,117㎡ (下り線) 超近接無導坑メガネトンネル
	施工法	NATM
	掘削方式	機械掘削
補助工法	掘削工法	DIIIハターン (早期閉合) DIハターン (早期閉合)
	補助工法	天端安定対策: 多段式長尺鋼管フォアパイリング 注入式フォアボーリング
		鏡面の安定対策: 鏡吹付、鏡ボルト 脚部の安定対策: 脚部補強工 (フットパイル)

2. 工事概要

2.1 工事概要

当工事は、名塩道路に計画された延長 291.8m (山岳トンネル区間 242m+開削トンネル区間 49.8m) の山岳トンネル工事である。周辺条件として、中国自動車道、八幡神社やマンションに近接した施工となり、全線にわたり土被り

*1 土木事業本部 技術部 *2 大阪本店 土木部

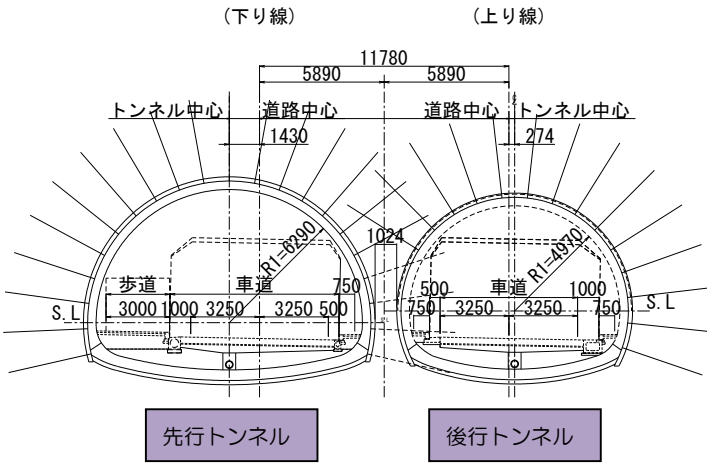


図1 トンネル標準断面

2.2 切土工事の概要

図2に示す起点側坑口付けの道路掘削では、浸食防止、植生の定着および景観上の理由から、切土法面の法肩および両端部のラウンディング処理を行った。法面の降雨対策として、法面の植生等が未施工および施工途中の箇所については、シート等により法面の養生を行った。

また、切土法面上方の浮石や土砂が背面の中国道側へ落下する恐れがあるため、切土着手前に浮石やひび割れを確認するとともに、落石防護ネットおよび落石防護柵の設置を行った。

なお、切土施工に関しては、落石を発生させないように、土塊を50cm程度の残し、1m程度の高さで仕上げていき、切土最近接部となる法肩については、人力で慎重に施工した。図3に落石対策の概要を示す。

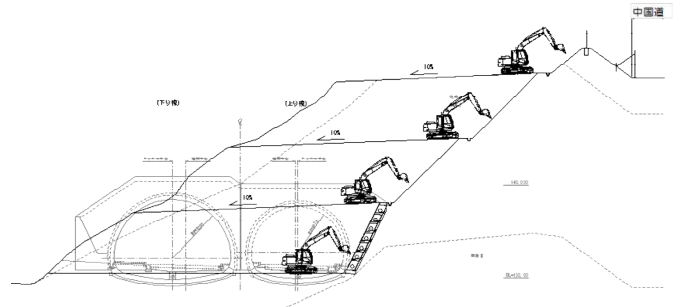


図2 切土掘削要領図

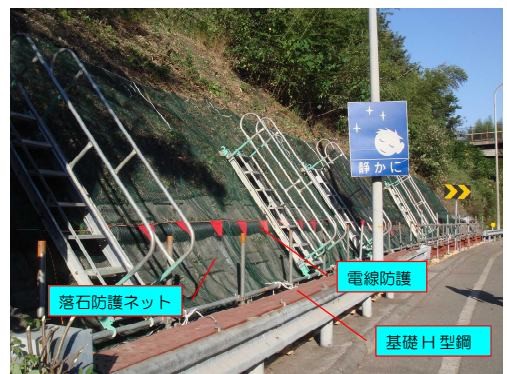
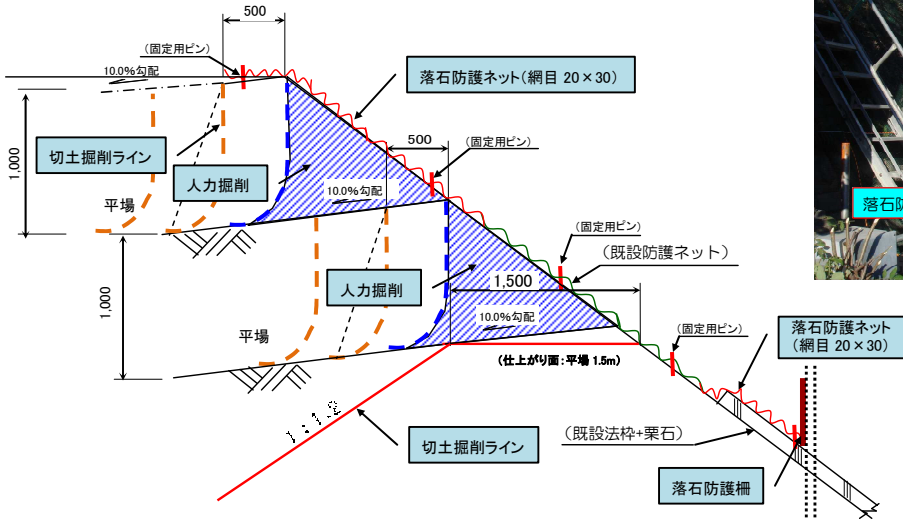
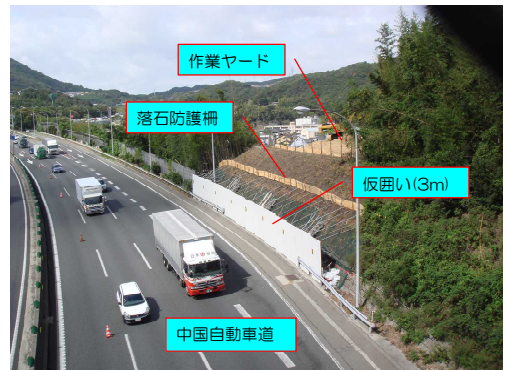
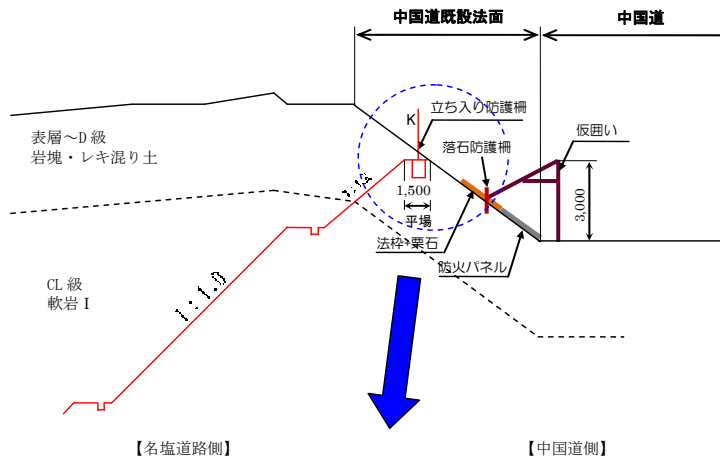


図3 落石防護工 概要図

3. 計測工の概要

3.1 計測項目及び目的

切土施工時の計測項目および目的について表2に示す。

計測システムとして、切土作業時およびトンネル掘削時の中国道近傍斜面、坑口部斜面、中間部地山などの挙動をリアルタイムで監視し、中国道の通行車両や作業員の安全を確保する目的から、計測結果を現地で見える化できるよう工夫した。なお、作業員に対する安全研修により、計測値とその表示色との関係に基づく安全性の確認方法を説明し、作業員自ら安全性を確認して作業できるよう指導した。

図4に計測位置平面図を、写真1、写真2に計測器設置状況を示す。



写真1 計測器設置状況

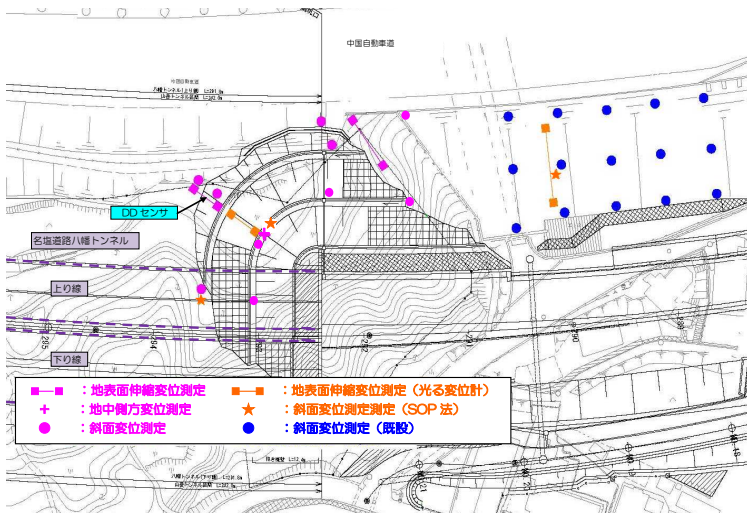


図4 計測位置平面図

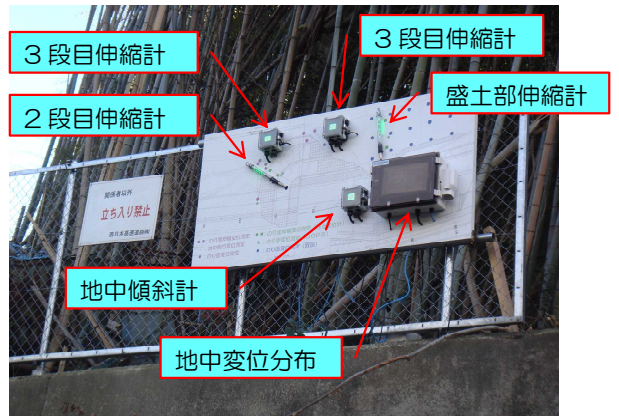


写真2 計測結果表示板

表2 計測項目及び目的一覧

計測項目・計測器	測点数	得られる事象	目的
斜面変位測定 (トータルステーション：TS)	10箇所	三次元変位量 (mm)	<ul style="list-style-type: none"> 坑口斜面切土時の中国自動車道近傍の地山挙動を監視する。 トンネル施工中および施工後の長期的な斜面の安定性を確認する。
斜面変位測定 (SOP)	3箇所	変位の有無 (mm)	<ul style="list-style-type: none"> 坑口斜面切土時の中国自動車道近傍の地山挙動を監視する。 地すべり初期の兆候の有無を確認する。
地表面伸縮測定 (地すべり伸縮計) (光る変位計)	4箇所	2点間相対変位量 (mm)	<ul style="list-style-type: none"> 坑口斜面切土およびトンネル掘削時の法面最上部、中間部の地山挙動(斜面変位：2点間の距離)を直接的に把握し、斜面の安定性を監視する。
地中側方変位測定 (地中傾斜計)	1箇所	地中水平変位量 (mm)	<ul style="list-style-type: none"> 坑口斜面切土時の中国自動車道近傍の地中の地山挙動を監視する。 トンネル施工時の斜面の安定性を確認する。

3.2 計測機器の概要

これまでの現場計測における課題の1つであった計測から警報の発信までのタイムラグをなくすために、計測結果の見える化技術を採用した。

計測結果の見える化技術を用いることにより、作業員自らがリアルタイムに危険度を把握できるため、安全性の向上が図れた。なお、警報の表示色は基本的に信号と同様に、緑色（安全）、黄色（注意）、赤色（危険）と設定した。

以下に当現場において採用した計測機器の概要を示す。

(1) 斜面変位測定（トータルステーション：TS）

斜面上に設置したターゲット（プリズム）の座標の変化を3次元測距儀により測定（自動測定）することにより、三次元的な斜面の変形挙動を計測する。

(2) 斜面変位測定（SOP：Single Observation Point）

斜面のすべり挙動を鏡と光源を用いて、ある限定された観測点（SOP）から計測を行う。SOPライトの光源が見える位置にターゲット（鏡）を設置し、観測を行い、鏡の位置（斜面）が動くとき観測点から光源が見えなくなることを利用して斜面のすべりの兆候を確認する（TSにて検証）。

なお、鏡に工夫（寸法が明確な同芯円やゼブラシール貼付）することでmm単位の変位確認を目指している。

(3) 地表面伸縮測定（地すべり伸縮計、光る変位計）

斜面に温度の影響を受けにくいインバル線（鋼線）を張り、2点間の距離の伸縮を計測することにより地すべりの監視を行う。計測値と管理値の関係を光の色の変化で表示する。

見える化技術として、光る変位計（変位量により測線端部が光る）とデータ集積が可能なLEC（光るデータコンバータ）を採用した。

(4) 非接触地表面伸縮測定（DDセンサー）

DDセンサーはレーザー測距儀により1回/1秒の測定を連続して実施することで、ターゲットまでの距離の変化を連続計測する。設置・撤去が容易であり、測定したい箇所に移動して施工途中の変位を容易に測定することができる。

なお、DDセンサーの計測値と管理値の関係をパトライトにより光の色の変化で表示した。

(5) 地中側方変位測定（地中傾斜計）

重力加速度計（MEMSセンサー）を3軸に設置し、地中傾斜計の区間変位（50cmピッチ）を測定し、地中の側方変位の分布を計測することにより、すべり面の有無を確認する。

区間変位速度の計測値と管理値の関係をLECにより光の色の変化で表示するとともに、地中変位分布を遠隔監視可能なタブレットPCにより現位置に表示する。

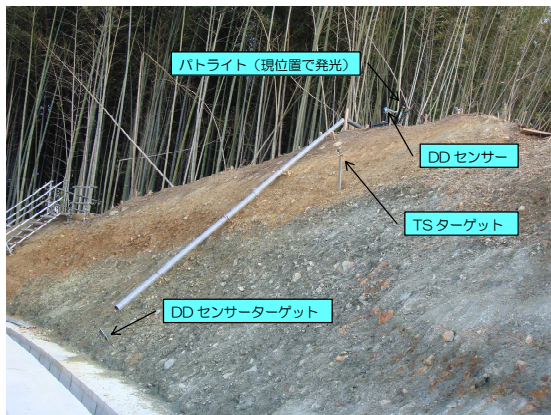


写真3 計器設置状況（1段目）

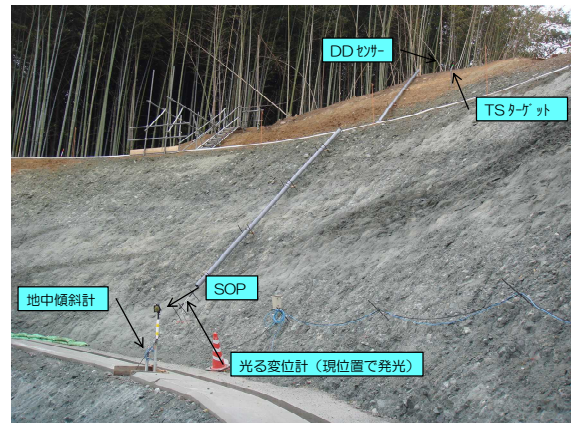


写真4 計器設置状況（2段目）

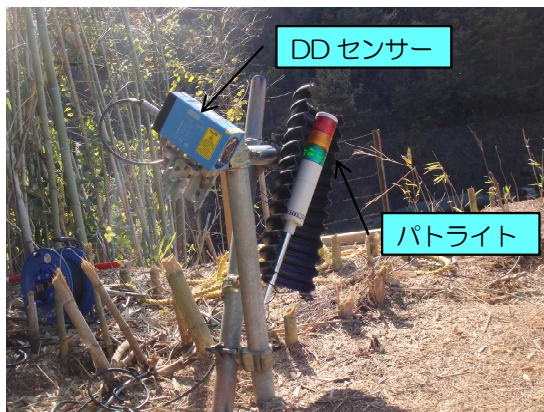


写真5 計器設置状況（DDセンサー）

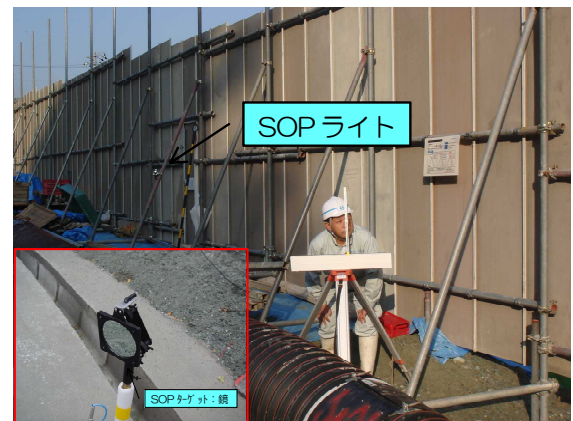


写真6 SOP測定状況

4. 計測結果の考察と見える化技術の検証

4.1 計測結果

以下に当現場で採用した「計測結果の見える化技術」による計測結果の一例を示し、結果に対する考察を述べる。

4.1.1 斜面変位測定結果

図5にTSによる測定結果の一例を示す。

結果的には、多少のばらつきはあるものの、切土作業を通して管理値である5mm/10日の範囲で収まっており、法面の安定性は確保されていた。

4.1.2 斜面変位測定

SOP法による測定結果からは、TS同様地すべりの兆候は見られなかった。光る変位計が誰にでも確認されることに対して、SOP法では、ある特定の位置に限定して確認できるということで、計測結果の取り扱いといった面で管理者としては有意なものと考えられる。

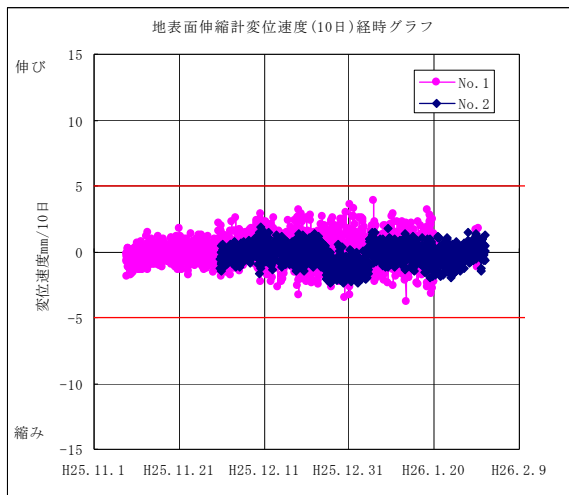


図6 光る変位計による測定結果

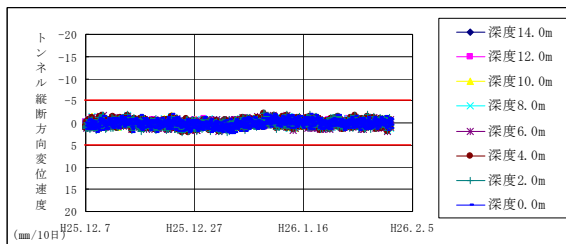
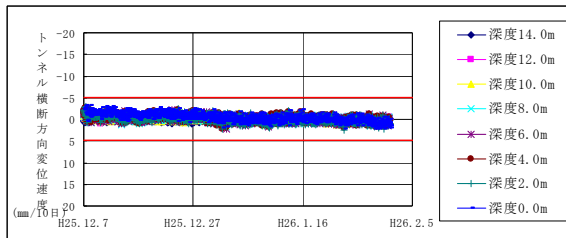


図7 傾斜計による測定結果

4.1.3 地表面伸縮測定結果 (地すべり伸縮計)

図6に示すとおり、地すべり伸縮計のデータについても管理値(5mm/10日)以内で収まった。

計測結果が光の色で表示されるため、作業員の聞き取り結果でも作業時の安全管理に有効であることが検証できた。結果的には緑色(安定)からの変化はなかった。

4.1.4 非接触地表面伸縮測定結果 (DDセンサー)

非接触連続変位に関しても他の結果同様、変位の変化は見られなかった。DDセンサーは、計器の設置、移動が容易であり、切土作業という日々計測対象の法面が変化するような作業においては、適用性に優れているといえる。

4.1.5 地中側方変位測定結果

図7、図8に示すように、地中側方変位に関しては、切土作業に伴い、3mm~4mm程度の変位は見られたが、管理値(5mm/10日)内で収まっており、目立ったすべり面(変化点)も観察されていないことから安定性に問題はなかった。

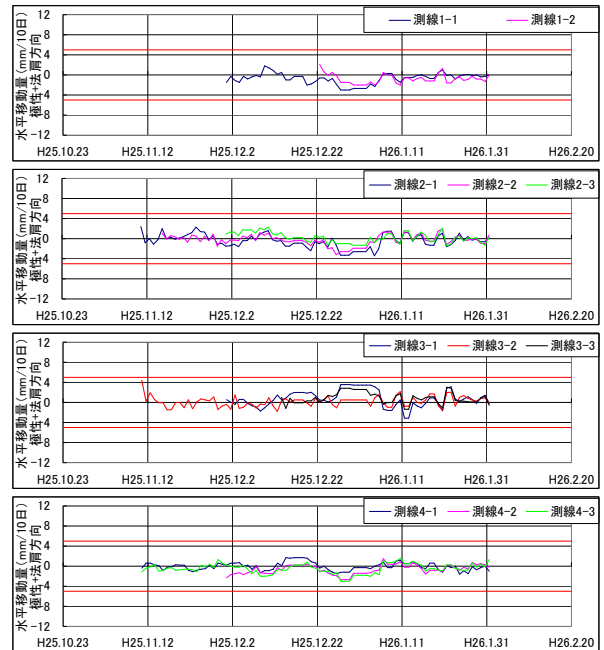


図5 TSによる測定結果

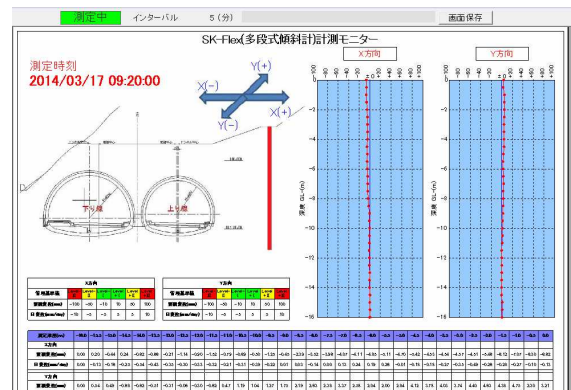


図8 傾斜計による測定結果(表示)

5. おわりに

八幡トンネル工事では、中国自動車道に近接した起点側坑口付けのための切土法面に対する計測管理として「計測結果の見える化技術」を適用することで無事に坑口付けを完了した。

切土法面に関しては、神戸層群の長期安定性を確保する目的から、土砂部に関しては法面補強対策を施し、軟岩の部分に関しては厚層基材吹付けを施工した。

一方、トンネルの施工に関しては、平成26年2月から坑口付けを行い、切羽の安定と近接する中国自動車道への影響を最小限に抑える目的で補助工法（多段式長尺フォアパイルリング及び注入式フォアポーリング）を併用して掘進中である。

これまでの計測結果からは、管理値を超えるような大きな変位や地すべりの兆候は見られなかった。

今後、中国自動車道に近接してトンネルの掘削を行った際、地山の緩みに伴う不測の事態も懸念されるため、計測を強化して必要に応じて対策工を検討する予定である。

今回適用した「計測結果の見える化技術」に関しては、図9に示すとおり、従来の計測管理における課題の1つであった計測から警告の発信までのタイムラグの発生を防止し、リアルタイムに光の色の変化で危険度を評価できるため、作業員自らが安全を意識しながら作業できるというメリットがあり、現場における安全性の向上と変状に対しての早期の対策が期待できる。今後とも情報化施工の実施により、安全施工に努めていく所存である。



写真7 坑口切土法面状況



写真8 トンネル掘削状況（防音ハウス内）

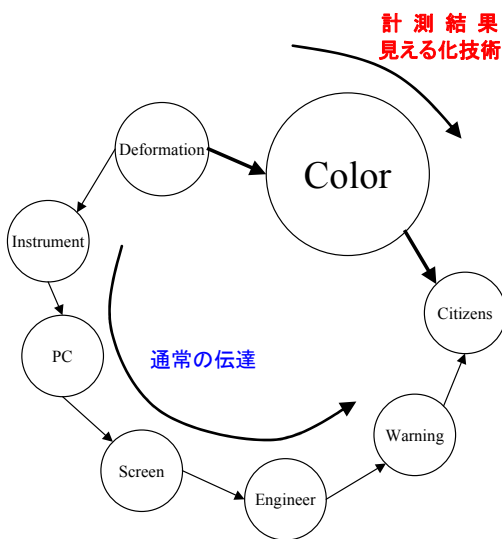


図9 計測結果の見える化技術による情報伝達プロセス^{1), 2), 3)}

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) 芥川真一, 森翔矢, 大村修一, 山田浩幸: トンネル掘削工事中の安全管理における光る変位計の適用例, トンネル工学研究論文, pp. 23-28, 2009.11.
- 3) 10) 山田浩幸, 芥川真一: 山岳トンネル工事現場における計測結果見える化技術の適用とその効果, 平成23年度近畿地方整備局研究発表会, 施工・安全管理対策部門: No. 04, pp. 1-6, 2011.