特集≫≫　トンネル

トンネル工事における安全の見える化技術の適用

マンションと高速道路の狭間での超近接メガネトンネルの施工

山　田　浩　幸

都市部での山岳トンネルの施工では，周辺環境に対する対策や近接する構造物への影響を考慮した施工が必要となる。名塩道路八幡トンネルは，上下線が約 1 m で近接する超近接メガネトンネル構造（特殊断面トンネル）であり，無導坑方式で計画されていた。また，トンネル周辺には供用中の高速道路，神社，マンションが近接しており，施工にあたっては，周辺環境の保全と安全管理を確実に実施する必要があった。今回，トンネル工事に導入した安全の見える化技術の概要とその効果について紹介する。

キーワード：山岳トンネル，メガネトンネル，近接施工，安全管理，計測管理

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。

名塩道路八幡トンネル工事は，先行して整備を進める第 1 工区（L = 1.4 km）のうち，西宮市名塩南之町～東之町に至る延長 L = 242 m 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。施工においては，都市部での施工ということもあり，周辺環境の保全と安全管理を確実に実施する目的から最新技術の導入を行った（**写真―1**）。

本報告では，八幡トンネル工事で適用した安全の見える化技術の紹介とその効果について述べる。

写真―1　トンネル施工状況

2. 工事の概要

当工事は，**表―1** に示すとおり，名塩道路に計画された延長 242 m の山岳トンネル工事である。八幡トンネルの構造は，上下線の最小離隔距離が約 1 m（最小部分 82 cm）で近接した，超近接無導坑メガネトンネル構造であった（**図―1**）。

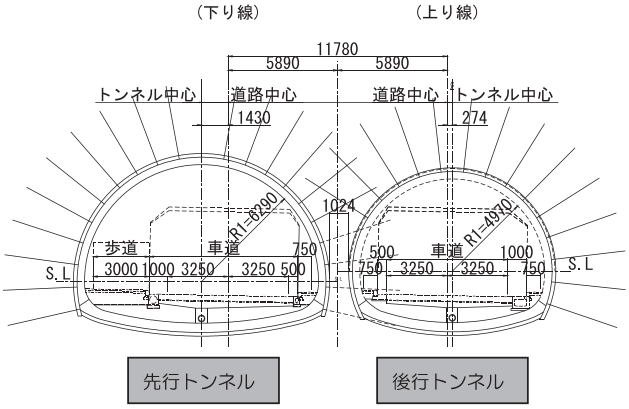
表―1　工事概要

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 = 288 m（トンネル延長 L = 242 m, 上下線）
	断　　面	掘削断面積 A = 87 m^2（上り線）， 117 m^2（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
	掘削工法	DⅢパターン（早期閉合） DⅠパターン（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 注入式フォアポーリング
		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）

周辺条件として，南側に中国自動車道，上部に神社，北側にマンションが近接した施工となり，最大土被りが 22 m で，全線にわたり土被りが 2D 以下と小さい。

特に，起点側坑口付けにあたっては，供用中の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。

坑口付けにあたっては，高速道路への落石対策を行



図―１　トンネル標準断面

うとともに，切土法面の計測管理として現地で誰でもいつでも確認できる安全の見える化技術を導入した。

坑口部のトンネル掘削時には，トンネル掘削の緩みの影響が高速道路に及ばないように，補助工法として先受け効果の高い多段式長尺鋼管フォアパイリングを採用した。また，メガネトンネルで最も不安定となる中間地山（干渉部）の監視にも安全の見える化技術を適用した。

(1) 起点側切土施工時の落石対策

起点側坑口部の施工にあたり，中国道路肩規制により落石防護工を行った。

起点側坑口付けの切土掘削では，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。また，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。

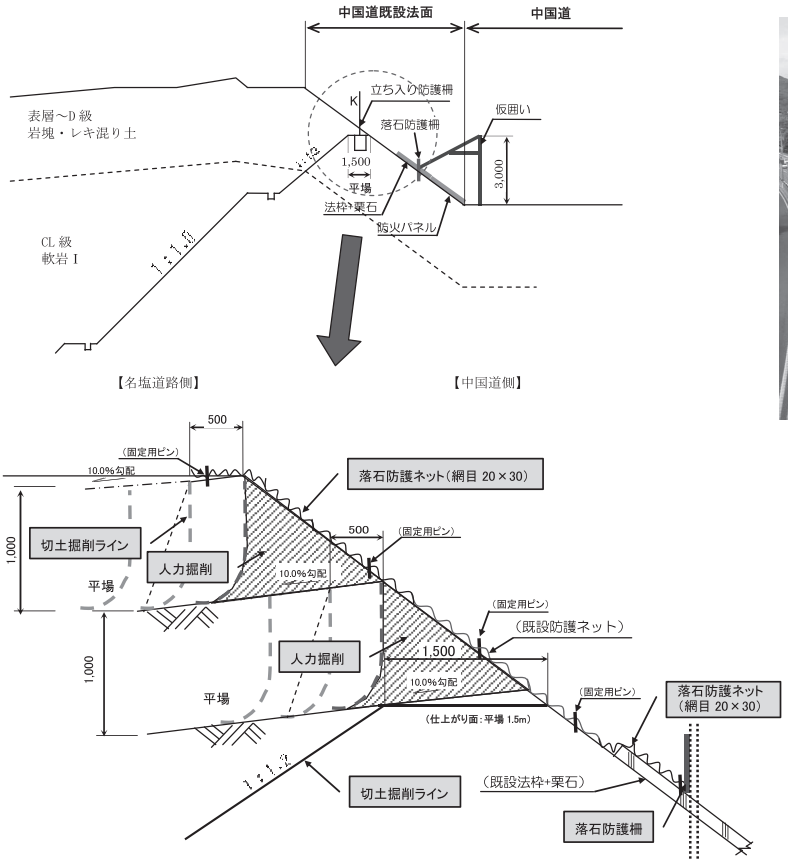
さらに，切土法面上方の浮石や土砂が背面の中国道側へ落下する恐れがあるため，切土着手前に浮石やひび割れを確認するとともに，落石防護ネットおよび落石防護柵の設置を行った。

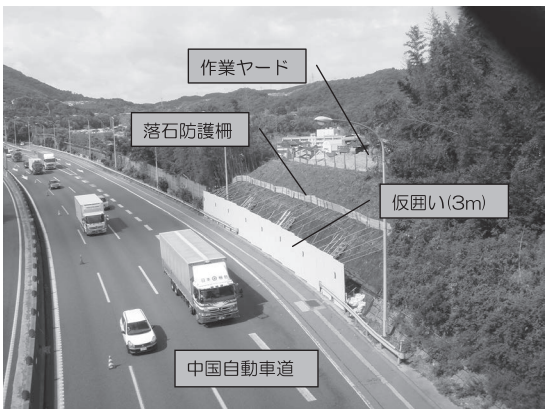
なお，切土施工に関しては，落石を発生させないように，土堤を 50 cm 程度残し，1 m 程度の高さで仕上げていき，切土最近接部となる法肩については，人力で慎重に施工した。**図―２**に落石対策の概要を示す。

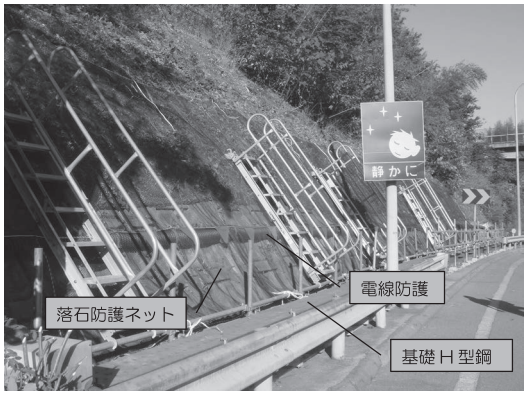
(2) 切土施工時の計測管理

切土施工時の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



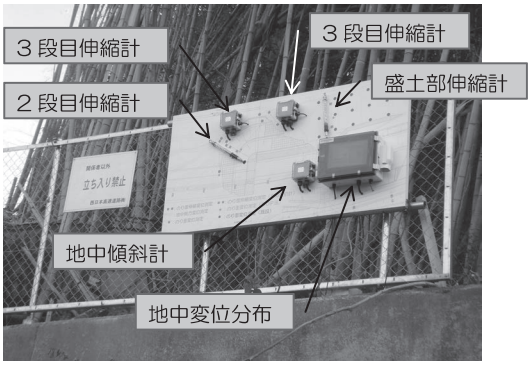




図―２　落石防護工概要図

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―3**に計測位置平面図を示し，**写真―2，3**に計測器設置状況を示した。 計測項目の概要は以下のとおり。

写真―2　計測器設置状況



写真―3　計測結果表示板

（a）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。

（b）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ール線を張り，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。

(3) 計測結果の考察と見える化技術の検証

以下に当現場で採用した「安全の見える化技術」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。

（a）斜面変位測定結果

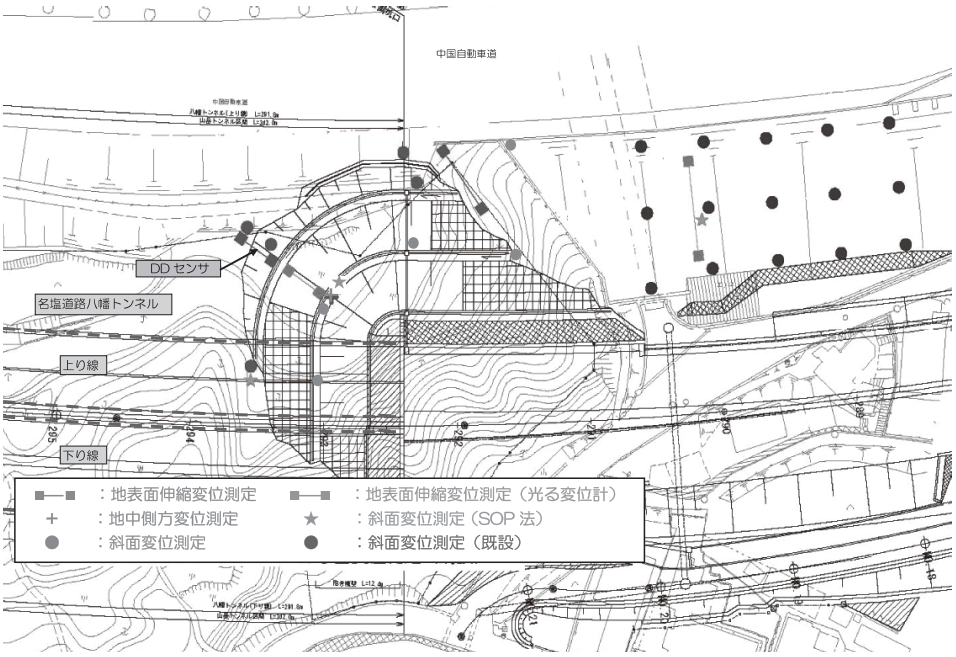
図―4にTSによる測定結果の一例を示す。

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5 mm/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。安全の見える化技術の適用により，現場作業員自ら安全状態を確認して作業を行うことができた。

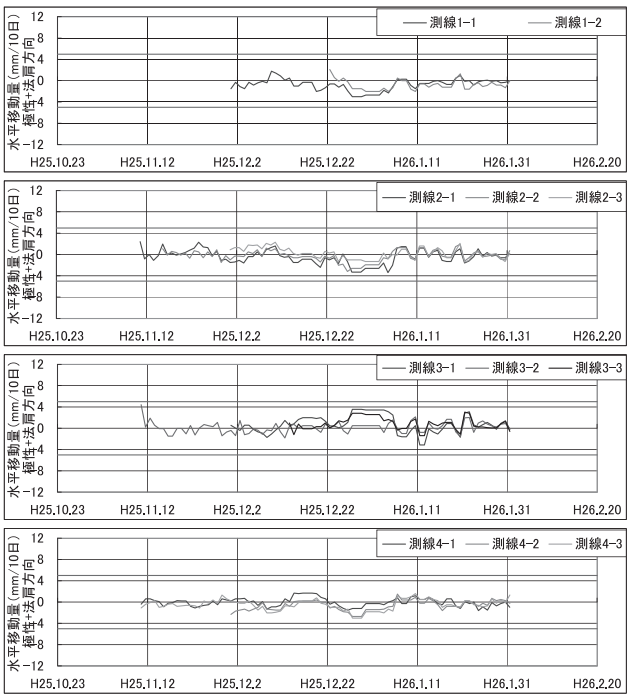
（b）地表面伸縮測定結果

図―5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（5 mm/10日）以内で収まった。

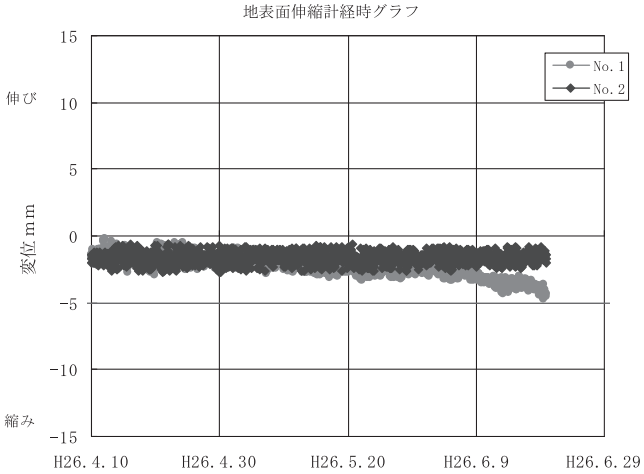
計測結果が光の色で表示されるため，作業員の聞き取り結果でも作業時の安全管理に有効であることが検証できた。切土時には結果的には緑色（安定）からの



図―3　計測位置平面図



図―４　TS 測定結果（経時変化）



図―５　地表面伸縮計測定結果（経時変化）

写真―４　計測表示板発行状況

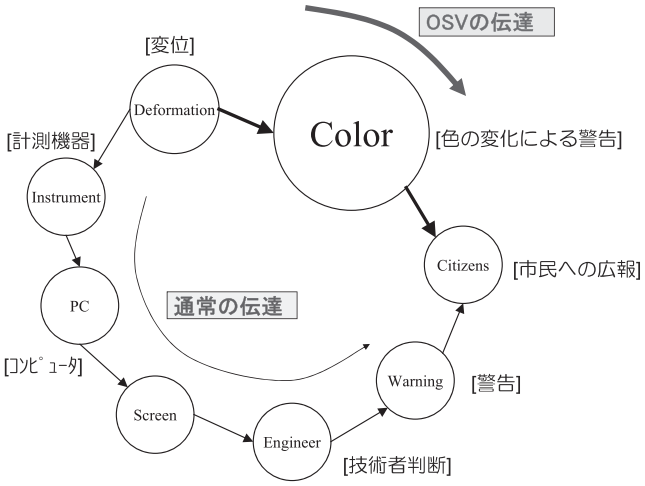
変化はなかったが，斜面に近接する上り線掘削時には一番上部の伸縮計が赤色（3 mm 伸び），盛土部の伸縮計が水色（3 mm 圧縮）に変化した（**写真―４**）。

3. おわりに

八幡トンネル工事で採用した最新技術のうち，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で採用した「安全の見える化技術」の効果と検証結果を示した。

切土法面の安定対策としては，神戸層群の長期安定性を確保する目的から，土砂部分に関しては法面補強対策として植生法枠工を施し，軟岩の部分に関しては厚層基材吹付けを施工した。

今回適用した「安全の見える化技術」に関しては，OSV（On Site Visualization）の思想を取り入れ，**図―６**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。



図―６　計測結果の見える化技術による情報伝達プロセス

謝　辞

今回の安全の見える化技術に関しては，OSV（On Site Visualization）研究会の会長でもある神戸大学大学院芥川真一教授はじめ研究会の皆様にご助言をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

JCMA

［筆者紹介］
山田　浩幸（やまだ　ひろゆき）
㈱鴻池組
土木事業本部　技術部