

# トンネル坑口部急崖斜面の対策工と 3Dレーザ計測を用いた調査の設計・施工への展開

高村 忠勝\* 尾畑 洋\* 中出 剛\*\* 石濱 茂崇\*\*\*

所原トンネル東坑口の岩盤斜面は急崖を形成しているため、事前の対策工として不安定岩塊の締付け効果を期待したアンカー工と吹付のり砕工が計画されていた。しかし、トンネル掘削の影響による岩盤斜面の不安定化に伴う落石や岩盤すべり状の変状が生ずる可能性が懸念されていた。そのため、本工事では伐採後の露出した岩盤斜面において3Dレーザ計測を利用した追加調査を行い、事前の対策工の妥当性を検証した。また調査結果をもとに岩塊除去によるのり面形状の変更やアンカー工の再検討を行い施工に反映させた。

キーワード：3Dレーザ計測、急崖斜面、斜面对策工

## 1. はじめに

山陰自動車道鳥取益田線は、鳥取市を起点として、鳥取県～島根県の主要都市を通過し、島根県益田市に至る、中国地方の日本海沿岸地域を横断する延長 244km の高速道路である (Fig. 1)。山陰自動車道の沿線には、中国地方でも代表的な港湾や観光地が多く、様々な地域産業の活性化の取り組みが行われている。当該道路は、このような主要都市と港湾あるいは観光地を結び、さらには広域的な高速ネットワークを形成することで京阪神や山陽・四国・九州地方との連携を強化することを目的として山陰地方の産業・経済・文化の発展に大きな役割を果たすものと期待されている。

所原トンネル工事では、東側坑口直上の岩盤斜面が急崖(一部オーバーハング)を形成しており、この岩盤斜面の不安定化が当初より懸念されていた。本工事では、施工中に当該部の対策工を再検討することとなり、早急に詳細な追加調査を実施する必要が生じた。このような状況から、本工事では、3Dレーザ計測による調査を採用して、設計の再検討を行った。

## 2. 工事概要

所原トンネル(正式名称：姉山トンネル)は、山陰自動車道鳥取益田線のうち斐川 IC～出雲 IC までを結ぶ 13.6km の区間における延長 820m のトンネルであり (Fig. 1)、出雲市街地中心部から南南東に約 5.0km に位置する。工事概要を Table 1 に示す。

## 3. 地形・地質概要

### ① 地形概要

本トンネルが計画されている周辺の地域は、東北東一西

\*広島支店 所原トンネル作業所  
\*\*土木事業本部 土木設計部土工開削G  
\*\*\*土木事業本部 土木設計部地質G

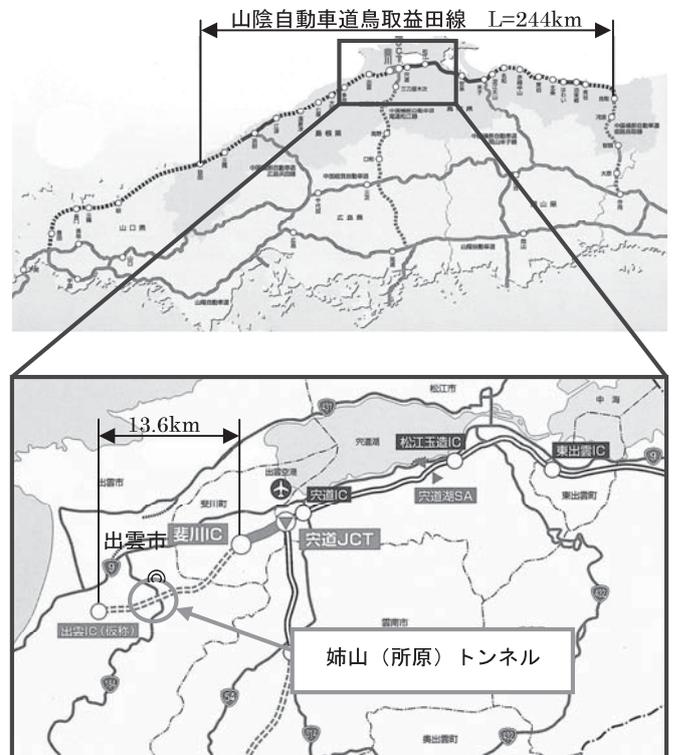


Fig. 1 山陰自動車道工事路線図

Table 1 工事概要

工事名	山陰自動車道 所原トンネル工事	
工事場所	自) 島根県出雲市朝山町	
	至) 島根県出雲市所原町	
発注者	西日本高速道路(株)中国支社	
施工者	熊谷組・松江土建特定建設工事共同企業体	
工期	平成17年12月2日～平成21年3月15日	
トンネル諸元	延長	L=820m
	掘削断面積	76～96m <sup>2</sup>
	内空断面積	67～82m <sup>2</sup>
	掘削方式	機械掘削
	掘削工法	上半先進ショートベンチカット工法

南西方向に伸びる中国山地中央部の北端に位置する丘陵地帯である。

トンネル線形付近は、神戸川とその支流の稗原川に挟まれた円錐状をした山体であり、山体斜面は全体に急峻となることで、所々に急崖がみられる。トンネルは、この山体の中央よりやや南側を東北東-西南西方向に貫く(Photo.1)。



Photo.1 工事位置空中写真

## ② 地質概要

当地域周辺を含む中国山地では、中生代白亜紀～新生代古第三紀の火成岩類が主体となっているが、本地域では、それらを覆う新生代新第三紀の火山岩類がみられる。5万分の1地質図幅「木次地域の地質」によると、本地域には新第三紀中新世の大森層が出現するとされている。大森層は、安山岩溶岩、デイサイト(石英安山岩)溶岩、流紋岩火砕岩、礫岩および砂岩、砂岩からなるとされている。

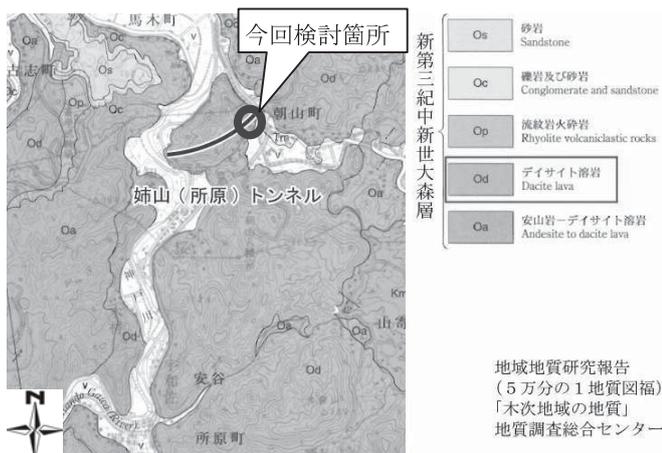


Fig.2 姉山(所原)トンネル周辺の地質図

このうち、本トンネルに出現する地質は、石英安山岩溶岩である(Fig.2)。当地の石英安山岩は、全体に多孔質で発泡跡が認められる塊状岩盤(中硬岩)である。新鮮部は暗灰～灰色を呈しており、風化が進むと褐灰～灰白色となる。

石英安山岩には、開口亀裂が発達しブロック状に浮石となるものが多くみられる(Photo.2)。この成因は、溶岩質の石英安山岩の初生的な不連続面(冷却節理など)が応力解放に伴い、開口したものと推測される。



Photo.2 開口亀裂を伴う岩盤の状況

## 4. のり面对策工の概要と経緯

本工事では、東側坑口直上に不安定岩塊が分布することから、トンネル掘削の影響による落石や岩盤すべり状の変状が生ずる可能性が指摘されていた。このため、設計時には、ボーリングコアやボアホールカメラ調査等の結果をもとに岩盤内の緩み域を推定し(以下、「推定緩み範囲」とする)、対策工として不安定岩塊への締め付け効果を期待したアンカー工と吹き付けのり砕工によるのり面防護工が計画された。



Photo.3 東側坑口の岩盤状況

一方、施工時には、限られた事前調査に基づいて計画された対策工に対して、伐採により露出した岩盤斜面(Photo.3)での追加調査を実施して、より詳細な岩盤面の形状を把握し、事前に計画されたのり面防護工の妥当性の検証を行うこととした。

また、推定緩み範囲には、オーバーハングの形状とな

る箇所があり、恒久的な安定性を考えた場合には、オーバーハング部は極力除去することが望ましいことから、追加調査を実施して、のり面形状の変更も含めた対策工を検討することとなった。

以下に、のり面対策工における追加調査とこれに基づく検討結果および対策工の施工状況について述べる。

### 5. 調査方法

当地が急崖で樹木に覆われていたことから、伐採前には当該斜面の正確な形状が把握できなかった。また、急崖部ではターゲットを用いた光波測距による詳細な地形測量が困難な為に、安全性・迅速性を考慮し、今回は3Dレーザ計測を採用した。

<目的>

- ・推定緩み範囲を含む斜面形状を詳細に把握する。
- ・オーバーハング部の岩塊除去範囲を設定する。

<方法>

3Dレーザ計測器は、レーザ光により遠隔から非接触で対象物の3次元座標を求められる機器であり、急崖部でも安全に大量の計測データを取得することができる。今回は、中長距離計測が可能な機器 (Optech, ILRIS-3D) を用い、対象斜面の対岸の道路より計測した (Photo. 4)。Table 2 に 3Dレーザ計測器の仕様を示す。



Photo. 4 3Dレーザ計測状況

Table 2 3Dレーザ計測器の仕様

項目	内容
測定距離	3~800m
スキャニング角	垂直・水平 ±20° (40° ×40°)
データサンプルレート	2000ポイント/秒
測定精度	±3mm (計測距離100m時)
レーザ強度	Class 1

3Dレーザ計測により得られたデータは、Fig.3 に示すフローにて処理を行った。

なお、当該斜面の計測点数は約 100 万点であり、計測期間は2日である。

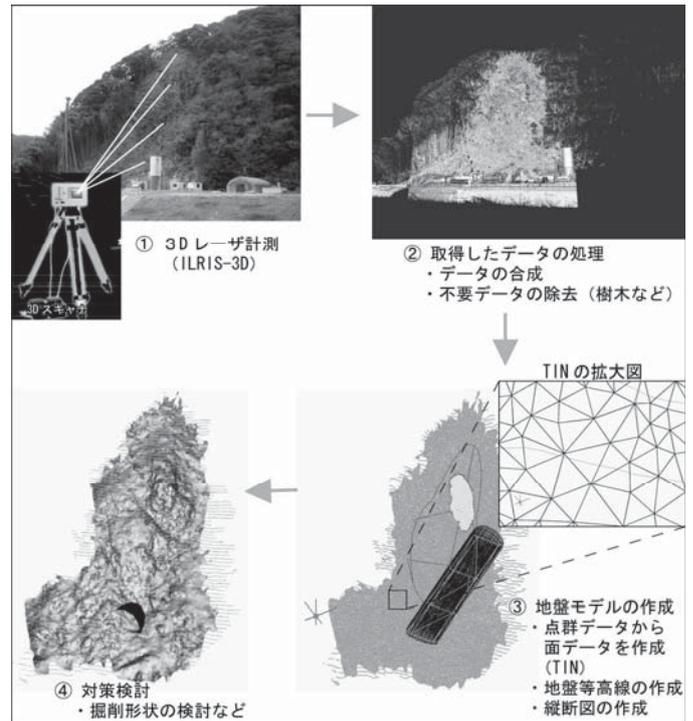


Fig. 3 3Dレーザ計測のデータ処理のフロー

### 6. 調査結果

取得した計測データを基に、Fig. 3 に示した手順により、当該斜面の3Dモデルを作成した (Fig. 4)。



Fig. 4 3Dモデル (俯瞰図)

この作成した3Dモデルを基に、オーバーハング部の掘削除去範囲の検討を行った。3Dモデルにより把握された形状や地質構造を勘案し、4つの掘削範囲案を作成

した (Fig. 5, Table 3). 比較検討の結果, 掘削除去範囲は除去する岩塊量は大きくなるものの, 恒久対策としての機能を最優先に考え, 斜面の平均的な勾配に近く, 最も安定性が高いと評価されたⅢ案を採用した.

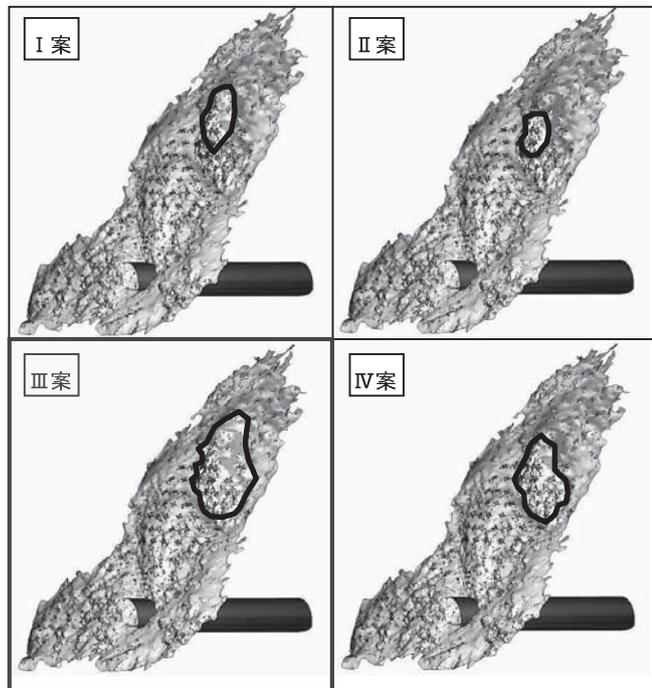


Fig. 5 オーバーハング部掘削除去案 (太線が除去部)

Table 3 オーバーハング部掘削除去案の比較表

案	除去対象	除去勾配	除去量
I	オーバーハング部の一部	平均斜面勾配 (60°)	160m <sup>3</sup>
II	オーバーハング部の一部	すべり面勾配 (70°)	80m <sup>3</sup>
III	オーバーハング部全体	平均斜面勾配 (60°)	810m <sup>3</sup>
IV	オーバーハング部全体	すべり面勾配 (70°)	350m <sup>3</sup>

## 7. 岩塊除去の施工方法

岩塊除去工は, 800kg 級ブレイカを装着した専用機械 (高所岩盤掘削機, Photo. 5) を斜面上方の樹木をアンカーとしてワイヤーで固定し, ラジコンによる遠隔操作にてウィンチを使って前後左右移動しながらオーバーハング部の岩盤掘削を行うものである.

Photo.6 および Photo.7 に除去状況写真を示す. 除去岩塊は, 斜面前方に土堤と大型土のうによって設けたポケット部分に落下させ, 飛散防止に努めた.

Fig.6 に掘削前後の斜面形状について比較したものを示す. 概ね当初の計画通りの形状に掘削することができ, 除去部の 810m<sup>3</sup> について実質 27 日で掘削を完了させた.



Photo. 5 高所岩盤掘削機



Photo. 6 オーバーハング部の掘削状況 (遠景)



Photo. 7 オーバーハング部の掘削状況 (近景)

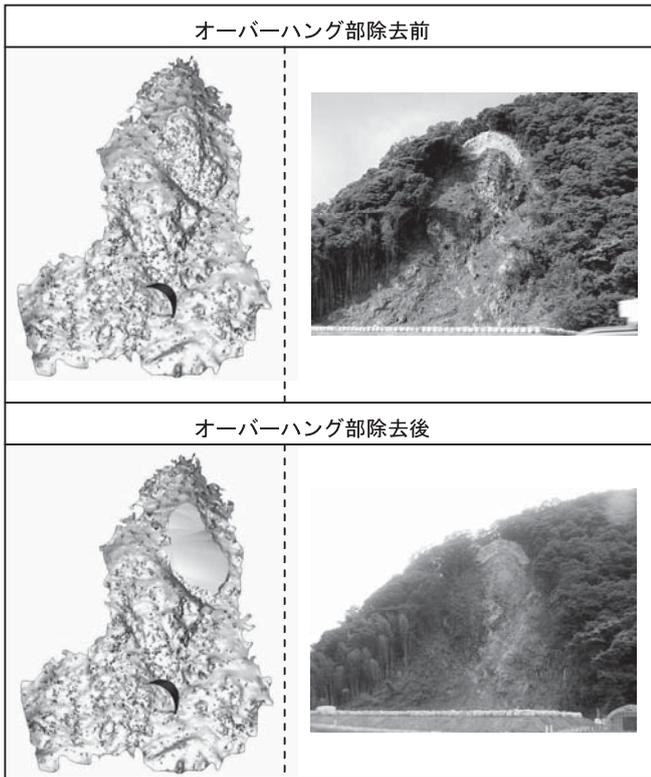


Fig. 6 オーバーハング部の掘削前後の比較  
(図中の丸が掘削除去部)

## 8. アンカー工

アンカー工の規模や配置については、3D レーザー計測結果をもとにオーバーハング部を除去した断面により再検討を行った。アンカー工の配置にあたっては、開口亀裂や多くの潜在亀裂を有する当該斜面の特性を考慮し、設計アンカー力を **300kN** 程度に抑えることで過大なアンカー力を避けるとともに、設置間隔を当初計画より密にすることで(2~3m)面的な抑止効果を図った (Fig. 7)。なお、オーバーハング部を掘削除去した結果、必要抑止力は掘削除去前と比較して **20%以下**に低減した (Table 4)。

また、アンカー工の施工では、削孔時に岩盤内へのセメントミルク充填(無圧)を行い、可能な範囲における潜在亀裂の閉塞を図った (Photo. 8)。

Table 4 アンカー工の比較 (当初設計および実施)

	設計アンカー力 (kN/本)	打設数量 (本)	必要抑止力 (kN/m)
当初設計	1056.7	49	1726.4
実施	235.7	30	275.0

※地震時

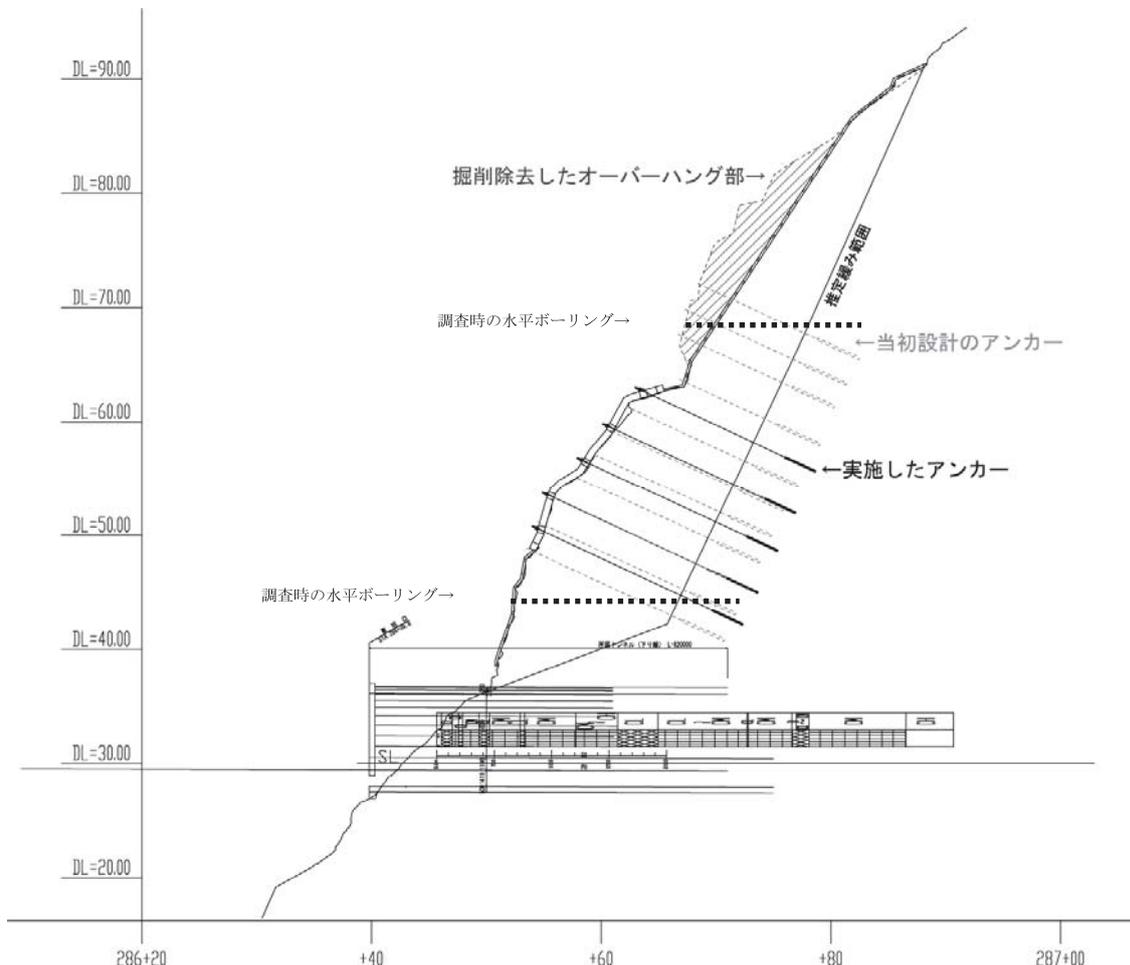


Fig. 7 のり面对策工の比較 (当初設計および実施)

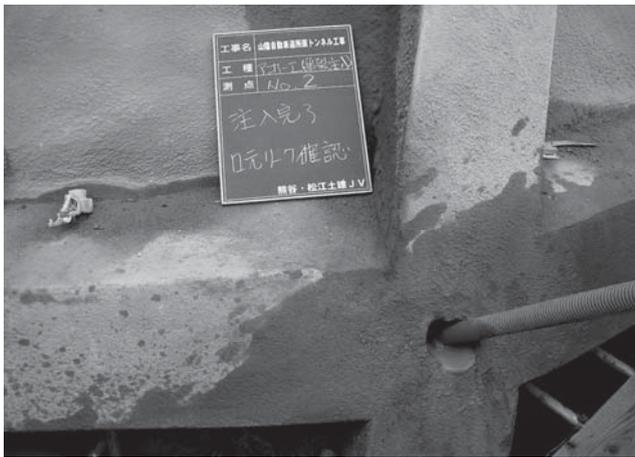


Photo. 8 セメントミルク充填状況

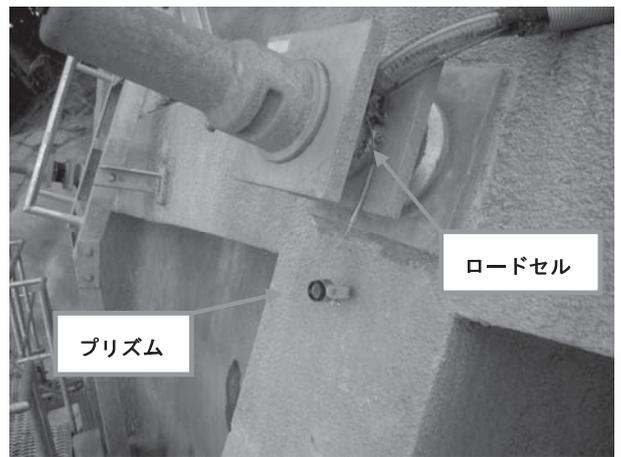


Photo. 9 動態観測計測機器設置状況

### 9. トンネル掘削時の管理体制

トンネル掘削時における東側坑口斜面の管理は、のり面変位測定とアンカー荷重測定を主体とした動態観測に基づいて行った。変位測定はのり面にプリズム（11箇所）を取り付け、トータルステーションで測定を行った（Fig. 8, Photo. 9）。一方、アンカー荷重測定はアンカー最下段に設置した2基のロードセルをPCに接続し、荷重値が初期荷重の±50%を超過した場合には、のり面に設置した回転灯が点灯するとともに即座に携帯電話に異常値発生メールが送信され、迅速に関係者に報告できる体制を整えた（Fig. 9）（Table 5）（Table 6）。

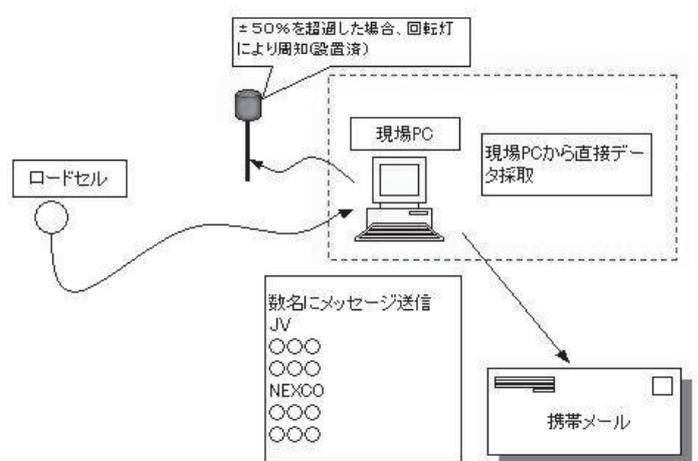


Fig. 9 異常値警報システム概念図

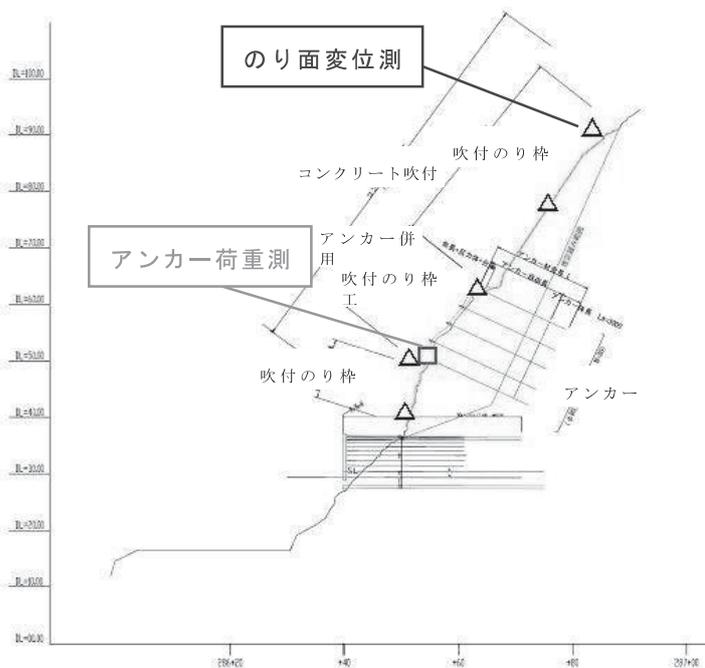


Fig. 8 動態観測計測器配置断面図

Table 5 管理基準値

計測項目	管理基準値①	管理基準値②	管理基準値③
アンカー荷重測定 (ロードセル)	荷重の上昇 (下降)傾向	上限:初期荷重の120% 下限:初期荷重の80%	上限:初期荷重の150% 下限:初期荷重の50%
のり面変位測定 (光波測距)	5mm/10日	5mm/5日	10mm/1日
トンネル内計測A (内空変位)	23.2mm	39.3mm	-

Table 6 行動レベル

レベル	注意	警戒	退避
管理基準値	管理基準値①～②	管理基準値②～③	管理基準値③以上
作業員周知	朝礼時に周知	速やかに周知	避難指示
トンネル掘削	通常掘削	掘削中止	-
対策工	検討	実施	-

トンネルはのり面最大変位量 5mm、またアンカー荷重計の変化も殆ど無く、平成20年6月無事貫通を迎えた。

## 10. まとめ

本工事では、不安定岩塊を有するトンネル坑口部の斜面对策において、3D レーザー計測を利用した詳細な調査結果をもとに当初設計の対策工の妥当性を検証した。また、より効果的な対策工を検討し、岩塊除去などより恒久的に安定性の高いのり面对策工を設計・施工した。これらの対策により、対象斜面を特に変状させることなく、坑口部のトンネル施工を終えることができた (Photo. 10)。



Photo. 10 のり面对策工全景

本工事で採用した3D レーザー計測は、当地のような急峻な岩盤斜面において、詳細な斜面形状のデータを比較的短時間で得ることができるため、施工計画を立案する上で有用なツールであると考えられる。

しかしながら、現状の3D レーザー計測では、データの処理やモデルの作成に専用のソフトと専門の技術者による作業が必要である。今後は、汎用のソフトでデータ処理が可能となり、かつ現在の汎用 CAD の2次元図面のように、一般的な土木技術者でも扱えるようになれば、3D レーザー計測は、普遍的に使用されるツールとなると考えられる。

## 11. おわりに

所原トンネルの東側坑口ののり面对策工は、「西日本高速道路株式会社松江高速道路事務所管内ののり面对策検討委員会」において検討が重ねられてきた。

本論は、同委員会において示された意見や指摘をもとに実施した調査や施工について報告したものであり、同委員会の委員長を務められた佐々木康広島大学名誉教授を始めとした各委員の方々に厚く御礼を申し上げます。

なお、所原トンネル工事は平成 21 年 3 月 15 日に竣工し、平成 22 年 3 月に開通する山陰自動車道・斐川 IC～出雲 IC 間の「姉山トンネル」として供用される予定である (Fig. 10)。

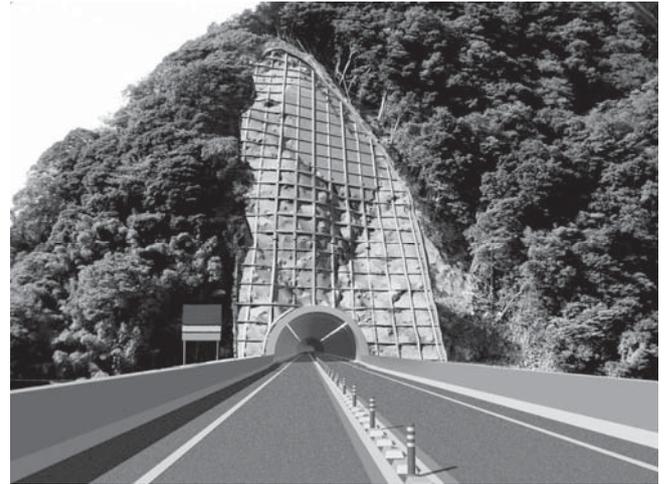


Fig. 10 姉山(所原)トンネル完成予想図

### 参考文献

松浦浩久・鹿野和彦・石塚吉浩・高木哲一(2005) 木次地方地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 72p.

## **The countermeasures construction for rapid cliff slope in tunnel entrance and the development to design and construction of investigation that uses 3D laser scanner measurement**

Tadakatsu TAKAMURA, Hiroshi OBATA, Tsuyoshi NAKADE and Shigetaka ISHIHAMA

### Abstract

Because the rock slope at the east entrance of Tokorobara Tunnel formed a rapid cliff, anchor construction and spraying frame construction was planned to expect the effect of tightening of an unstable rock lump as countermeasures construction in advance. However, the possibility that a falling rock or transformation state like a rockslide was caused due to the unstabilization in the rock slope by the influence of the tunnel excavation was feared. Therefore, an additional investigation using 3D laser scanner measurement was done in the rock slope where exposed after deforested, and the validity of prior measures construction was verified in this construction. Moreover, the change in the slope shape by the rock lump removal and anchor construction were reexamined based on the result of the survey, and it was reflected in the actual construction work.

Keyword: 3D laser scanner measurement, Rapid cliff slope, Slope countermeasures construction

---