

## 3D 計測技術の構造物点検への適用性について

阪神高速技術(株)技術部技術開発課 深川 季秋  
阪神高速技術(株)技術部技術開発課 吉田 貴保

### 要 旨

阪神高速道路の構造物点検には主に定期点検と日常点検がある。現行の定期点検では、接近点検による触診から、損傷度判定を行っており、交通規制や重機の配置等により、走行するお客様へ影響を与えると共に、コストも高くなるといった課題がある。一方、日常点検では主に第三者被害に着目し、原則として遠方目視により点検を実施しているが、接近点検ではないことから損傷の発見には限界がある。こうした構造物点検が抱えている課題を解決するため、平成 21 年度から 3D レーザースキャナーを用いた 3 次元計測により損傷を遠方から検出するとともに、従来の定期点検や日常点検では確認できなかった構造物自体の変状計測について試行的に実施しているところである。3 次元計測は、基本的に交通規制を必要とせず遠方からの調査が可能のため、お客様への影響が低減できるとともに、点検時の仮設備等が不要となるなど点検コストの低減が期待できる。さらに、写真画像データも同時に取得できるため、ひび割れ延長など視覚的、定量的に損傷情報を把握することが可能である。

本稿では、3 次元計測による様々な計測結果（舗装、建築限界、トンネル、のり面など）の報告を通じて、当該計測手法の構造物点検への適用性について報告を行うものである。

**キーワード:**3 次元計測, 点検, 変状計測

### はじめに

従来の構造物の変位・変状計測は、光波測距儀とターゲットを使用し、任意の測点を 1 点毎に計測するものであった（図-1 参照）。

一方、3 次元計測は、ターゲットを必要とせず、3D レーザースキャナーから発するレーザーにより対象物を無造作にスキャンするもので、得られた点群の 3 次元座標データを CAD に取り込み、3 次元モデルを作成する（図-2 参照）。

3 次元計測の用途としては、プラント設備や車輛、船舶、航空機などの形状の 3 次元

CAD モデル化や、道路、橋梁、トンネルなどに関する現況図の高精度かつ効率的な作成である。また他分野では、遺跡や文化財、森林や岩肌など自然の姿を 3 次元 CAD に取り込み、コンピュータグラフィックス、バーチャルリアリティなどに幅広く使用されている。

本論文では、従来の構造物点検に発生している問題点をリストアップし、解決方法を 3D 計測で検討した。

また、取得した結果を基に点検の高度化が図れる技術であることを報告する。

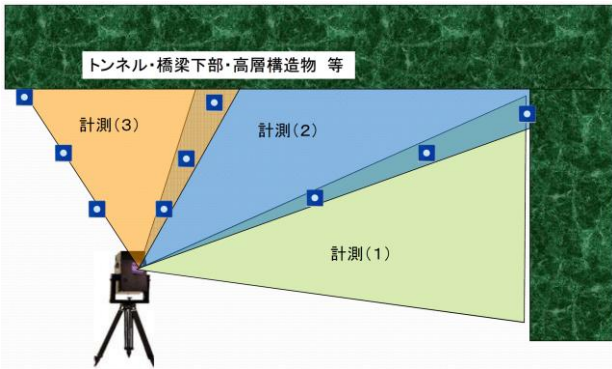


図-1 計測例（従来方法）

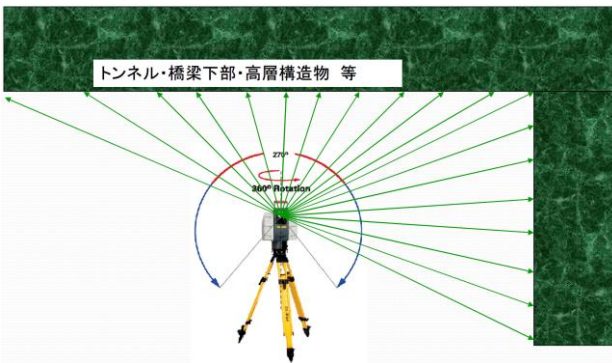


図-2 計測例（3次元計測）

## 1. 構造物点検の問題点

### 1-1 トンネル点検

トンネルの点検は接近点検による触診方法である。この点検方法では、覆工表面に発生するひび割れ等の損傷はわかるが、トンネル全体の変状（トンネルの沈下、浮き上がり、内空断面の変形など）が確認できていないため、トンネル全体の健全性が正確に把握できない（図-3 参照）。

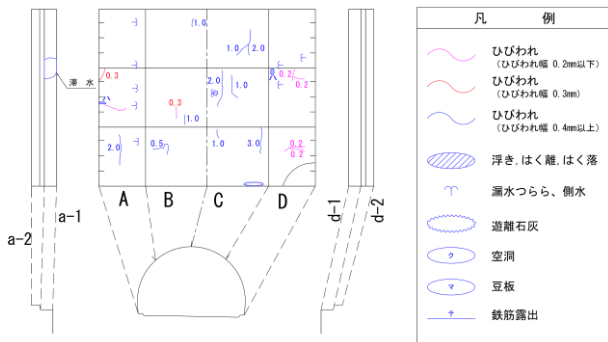


図-3 点検報告書スケッチ記入例

### 1-2 のり面点検

のり面点検は亀裂、段差、湧水などの要注意箇所を抽出し、その箇所を目視による接近点検を毎年実施している。しかし、局所的な点検であるため、のり面全体の細かな変状（孕みなど）を把握できていないため、トンネルと同様にのり面の健全性評価が正確に把握できない（図-4参照）。

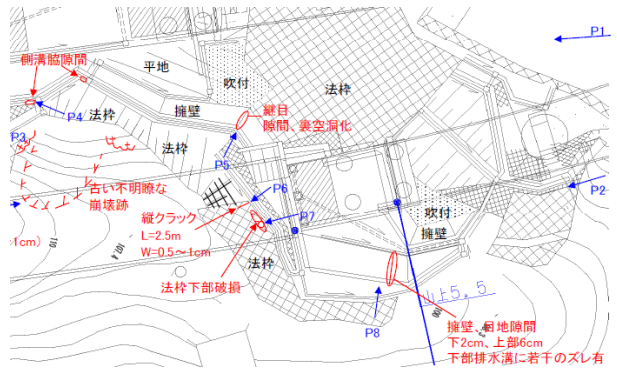


図-4 のり面点検損傷記入例

### 1-3 舗装点検

舗装点検は路面性状測定車にて行っており、点検項目としては、わだち掘れ、ひび割れ、平坦性がある。平坦性およびわだち掘れの算出は各計測点を設けて損傷度を評価している。損傷度の評価指標としては問題ないが、舗装を面でもとらえた場合の情報量が少なく、舗装の不陸が点で評価しているため補修設計時の資料として活用する場合、再度詳細調査が必要になる（図-5 参照）。

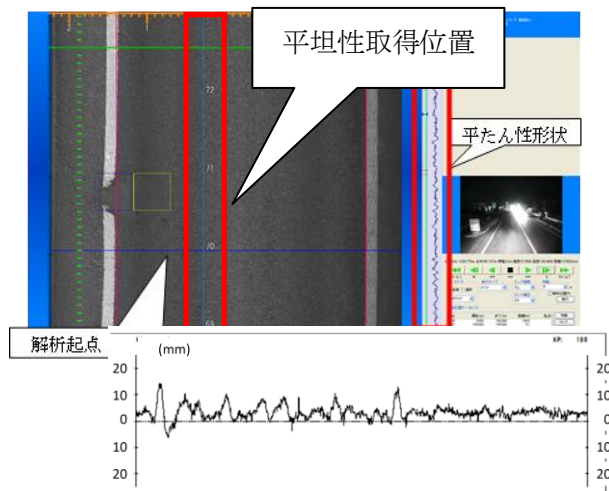


図-5 平坦性データ取得イメージ図

## 1-4 定期点検その他

標識点検で、建築限界確認のための計測方法は、スケールで実施している（写真-1 参照）。ただし計測方法が点検員の感覚によるところが大きく、建築限界を犯した場合の範囲が2次元的な範囲でとらえているため、全体的な確認が不明瞭であり、補修計画立案時に再度全体的な計測を行う必要が生じている。

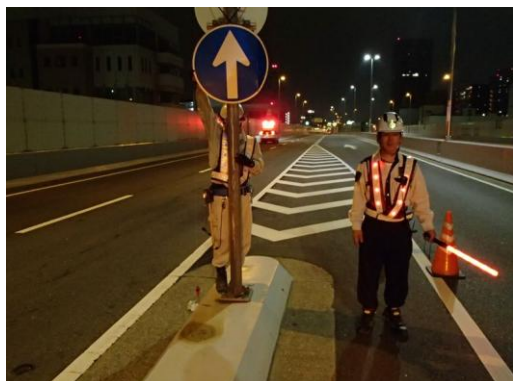


写真-1 建築限界確認状況

## 2. 3次元計測実用例

構造物点検の問題点を解決するため、3次元計測が一手法として適用可能であるか検討を行った。計測した実用例を以下に示す。

### 2-1 トンネル点検

#### (1) 目的

トンネルの内空断面の変位やひび割れの発生位置などの計測が可能であるかどうか、トンネル内の幅員の狭い監査廊に器械を設置しても計測が可能であるかどうかの検証を目的とした。

#### (2) 点検方法

計測箇所は、昭和60年代竣工の上下線の延長が約400mの井吹トンネルで計測を実施した。

初めに、トンネル内での計測時に交通規制をかけないために、3Dレーザースキャナーを用いて監査廊から計測を行った（写真-2参照）。また、基準点測量を行い3次元データに世界測地系座標を設定し、精度確認を行った。

またトンネル内部のひび割れ形状を効率的に把握するため、レーザースキャンと写真を併用した。

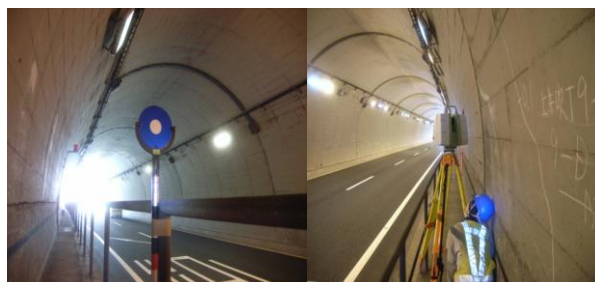


写真-2 トンネル計測状況

#### (3) 計測結果

側壁面に近接した位置での計測であったが、内空断面を計測することができた。また計測にかかる時間は約6時間であった。計測結果を図-6に示す。

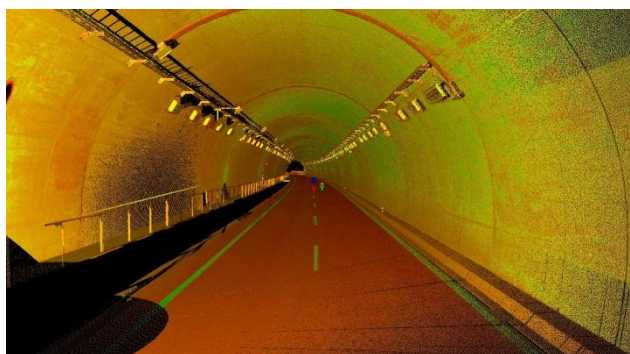


図-6 3D計測点群図(トンネル)

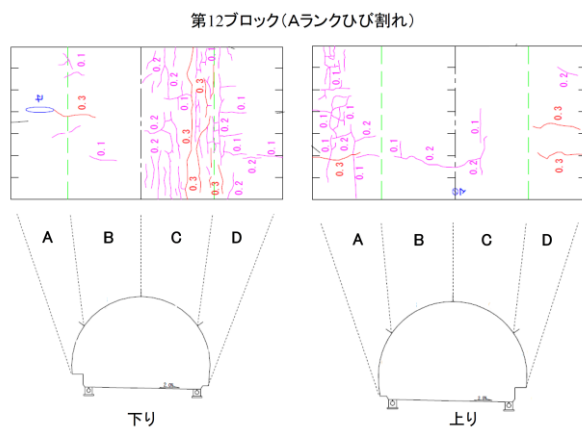
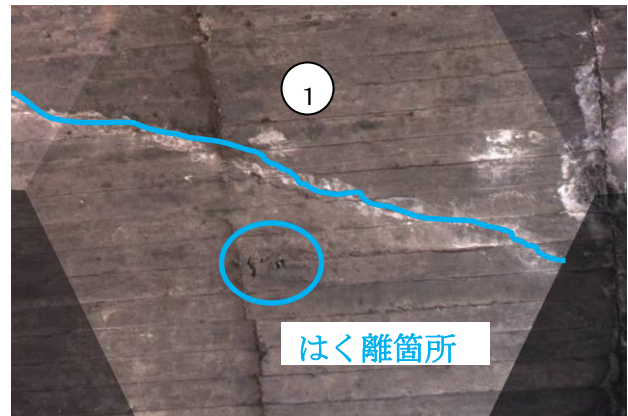
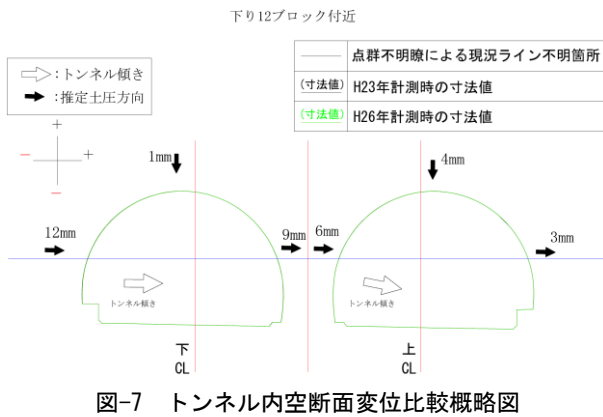
精度管理については、400mの区間を計測するために、器械の設置（盛り替え）を20回行ったが、各設置点での計測結果を合成した結果、合成誤差が約2mmであった。基準点測量の座標との比較では約5mmの誤差であり、概ね良好な結果となった。

解析では平成23年度取得データと平成26年度取得データから、断面比較図を作成し、トンネル内空断面の変位状況を把握した。

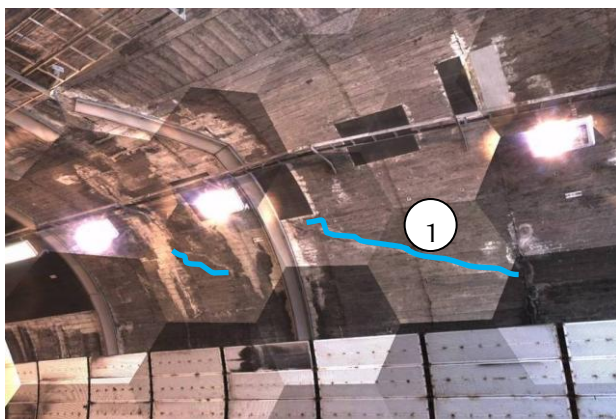
断面図作成では任意測点で速やかに描くことが可能であり、同一断面での比較が可能であるためトンネル内空の変位状況が確認できる（図-7参照）。また定期点検時の損傷状況（図-8参照）と比較すると、多数のひび割れが確認されている。

定期点検の損傷状況と比較することで、今後詳細調査が必要な箇所を具体的に抽出し、補修補強の判断資料になり得ることが確認できた。





また写真データと点群データを利用して、トンネル側壁や頂版に発生している幅1mm以上のひび割れやコンクリートのはく離箇所についても、トンネル内の照度に影響を受けるものの、山岳トンネルレベルのひび割れ(3mm以上:Aランクひび割れ)であれば、検出可能であることが確認できた(写真-3, 写真-4参照)。



今回計測した3次元計測結果を、公共座標を用いて、どの程度誤差が生じているのか確認を行った。この誤差の結果により、公共座標を定点として測量形式で3次元空間の座標管理が可能であるかの検討を行った。

高さ方向(Z軸方向)で一部2.7mmの誤差が生じており、平面側(Y軸方向)では最大で1.6mmの誤差であったため、誤差確認としては、良好な結果となった。計測ピッチを40m程度で実施し、公共座標を定点として変位を計測することで、現況位置が把握できると考えている。

## 2-2 のり面点検

### (1) 目的

のり面に対して、変状計測が可能であるか検証を行った。また、過去に取得したデータとの比較を行い経年変化の確認が可能であるかの検証を目的とした。

### (2) 計測方法

計測箇所は、トンネル坑口から全周約340mののり面とした。トンネル計測と同様の精度確認を行った。

### (3) 計測結果

雑草などの障害物はあるものの、のり面の形状を確認することが可能であった。計測結果を図-9に示す。

合成誤差が約2mmであり、3Dデータ座標を持たせて計測した結果、比較となる基準点測量座標との誤差は約3mmであり良好であった。

計測結果を過去に取得したデータと重ね合わせて経年変化を把握することが可能かどうかを確認した（図-10参照）。

実線が前年度計測結果で、点群データが今回取得したデータである。

図-10より、前年度と比較してのり面の一部が膨らんでいる形状を示しているが、現場では、漏水と土砂の流出が確認できた。今回の計測結果で、概ね良好の結果となり、のり面全体形状の経年変化を確認することができた。

また前年度と比較することで、のり面の要注意箇所を抽出した（図-11参照）。

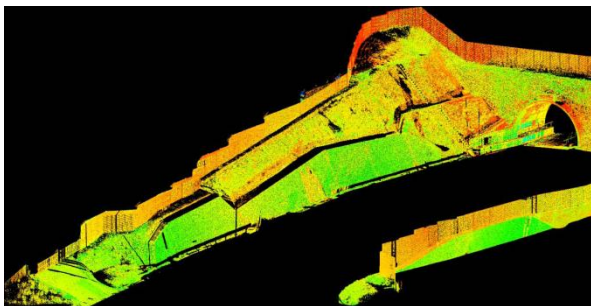


図-9 3D計測点群図(のり面)

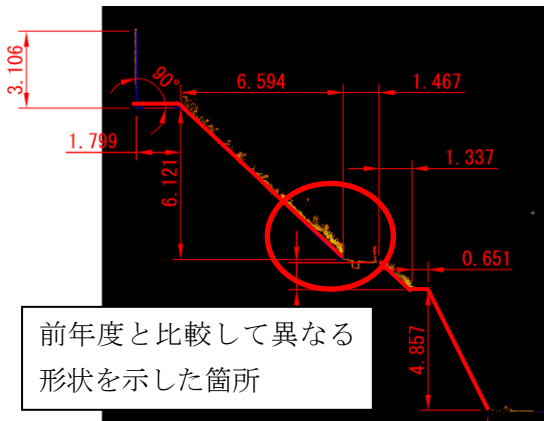


図-10 のり面断面比較図

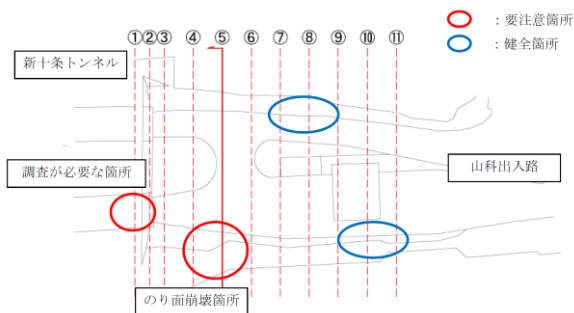


図-11 のり面重点点検必要箇所図

## 2-3 舗装点検

### (1) 目的

舗装表面に発生する不陸などの計測が可能であるかの検証を行った。また、竣工図の舗装縦断勾配と今回取得したデータとを比較し、舗装全体の不陸確認および平坦性測定が可能であるかの検証を目的とした。

### (2) 点検方法

計測箇所は、トンネル区間のコンクリート舗装を対象とした。

調査方法は以下の2点に着目して実施した。

#### 1) トンネル舗装区間全体の不陸状況把握

トンネル路面の全体状況を把握するために、路面の不陸状況をグラデーション図にして確認した（図-12参照）。

なお、グラデーション図とは、竣工時の舗装勾配と高さを基盤面にして色の色彩で凹凸が判断できるように表示したものをいう。

#### 2) 舗装路面の平坦性測定

全体の状況を把握した後、舗装の平坦性を確認し車両走行時における乗心地に影響する道路を凹凸を確認するために、コンクリート舗装路面の水準測量データを抽出し、これにより国際ラフネス指数（International Roughness Index以下IRIと称す）を算出した。

IRI 算出にあたり、コンクリート舗装路面の基準高さ（縦断方向）は、車線中央から車両進行方向の左側 0.875m の位置とした。

計算条件を表-1に示す。

IRIは、100mピッチで算出した。

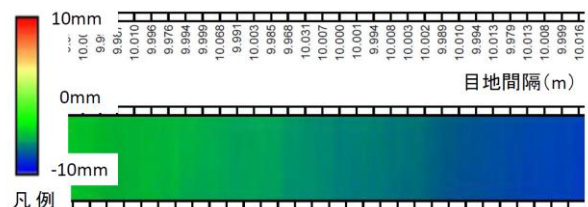


図-12 路面グラデーション図（参考）

表-1 計算条件

項目	内容	備考
水準測量データ	測線 LA1 (下り走行車線)	サンプリング間隔 1cm
CADから抽出・変換 (CSV データ)	測線 LA3 (下り追越車線)	各測線延長 約 1,180m
	測線 LB2 (上り追越車線)	測線は全て左車輪
	測線 LB4 (下り走行車線)	
IRI算出間隔	100mピッチ	
使用ソフトウェア	ProVAL3.4	フリーソフト http://www.roadprofile.com/
フィルタ処理	有り	250mmフィルタリング

(3) 点検結果

1) トンネル舗装区間全体の不陸状況把握結果

下り線の評価結果の一部を図-13 に示す。グラデーション図の判定は青が基準面より低く、赤色は基準面より高く表示している。解析結果から、基準面からの最大高低差が 64mm であった。

コンクリート舗装目地部において段差が発生している状況が確認できた (写真-5参照)。高低差が最大で12mm程度であった。目地部以外の路面凹凸状況は、急激な凹凸の変化は確認できなかった。以上の結果を踏まえトンネルの凹凸が大きい箇所を表-2に示す。共通して確認できることは、各目地部に段差が発生しているが、20mmを超える段差は確認されていない。ただし、グラデーションの色彩変化が青から赤に変化し、分布幅が大きい箇所(段差が大きいと考える箇所)、または色の分布が局所的に変化し続けている箇所(凹凸が頻繁に発生している箇所)はトンネルの坑口または、終点側に分布していることが確認できた。

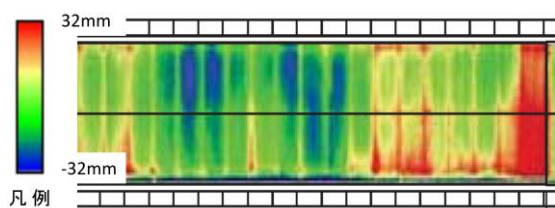


図-13 路面グラデーション図 (実測)



写真-5 目地部の損傷写真

表-2 路面凹凸抽出箇所一覧表

上り				段差	高低差
起点	坑口	~ 200m	付近	有り	10mm未満
		700m	付近	有り	10mm未満
下り				段差	高低差
起点	坑口	~ 300m	付近	有り	10mm未満
		700m	付近	有り	10mm未満

2) IRI算出結果

前述で示した、コンクリート舗装路面の凹凸確認では、目地部の損傷および路面の凹凸がどの区間で発生しているか確認できたが、車両走行に与える影響を確認できていない。100mピッチのIRI結果を図-14に示す。

補修の判定ランクとしてNEXCOでは、IRIを舗装の平たん性の評価指標としており、古い舗装で劣化がやや進行した状態で、振動・うねりを感じる路面状況である舗装の補修目標値として、3.5mm/mを閾値としている。また、旧日本道路公団の報文<sup>1)</sup>によれば、トンネル内のコンクリート舗装のIRI増加量は、経過年数20年で0.25mm/m程度と考えられるため、トンネル内のコンクリート舗装を補修する判断基準値は、今後の進行性も考慮し、3.0mm/mが適用と考えた。

以上の結果から抽出した補修箇所を表-3に示す。

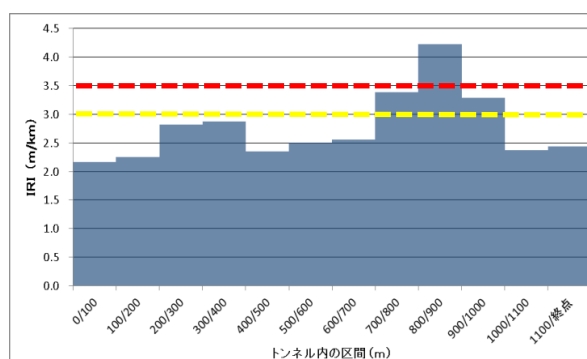


図-14 IRI (下り線・追越車線 100mピッチ)

表-3 藍那トンネル下り線IRI計測結果(100mピッチ)

区間 (m)	走行車線 (LA1)	追越車線 (LA3)
0~100	2.213	2.228
100~200	3.186	3.407
200~300	3.123	3.320
300~400	2.842	2.346
400~500	2.459	2.318
500~600	2.535	2.353
600~700	2.798	2.452
700~800	3.161	3.048
800~900	3.463	3.718
900~1000	3.818	3.619
1000~1100	2.690	2.915
1100~終点	3.457	3.422

■ : IRI > 3.0 (m/km)の区間  
■ : IRI > 3.5 (m/km)の区間



なお、(3). 1)と(3). 2)の計測結果は、概ね一致していることから、3次元データを用いて有効な舗装点検が可能と考えられる。

## 2-4 定期点検その他

### (1) 目的

標識点検で実施している建築限界計測を3Dレーザースキャンで実施した。その結果を基に構造物の位置情報を把握し、点検および補修計画に活用可能であるかを検証した。

### (2) 点検方法

計測箇所は、トンネル内にある電光掲示板および架台とした(写真-6参照)。

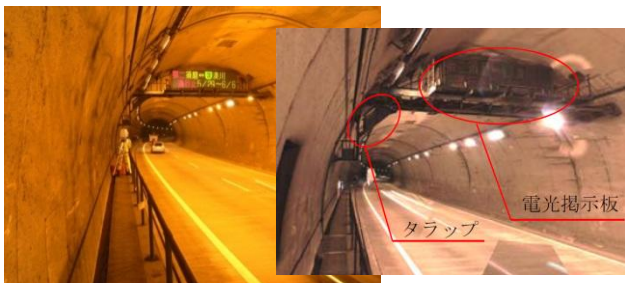


写真-6 計測箇所写真

### (3) 点検結果

側壁面に近接した位置での計測は可能であった。また計測にかかる時間は30分程度であった。計測結果を図-15に示す。

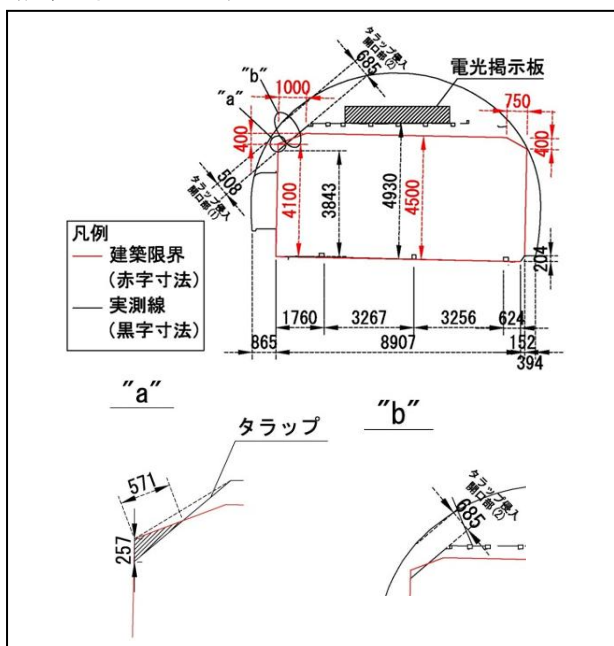


図-15 計測結果図

周辺情報を取得した結果、従来計測方法では

取得できないタラップ周りの建築限界干渉を確認できた。また高精度であるためミリ単位のデータを取得することができた。この結果を基に架台の全体改良ではなくタラップ撤去を提案することで軽微な補修で完了することができた。

## 3. 結論

実用例から以下のことが確認できた。

### 3-1 トンネル点検・のり面点検

3次元計測結果と定期点検の情報を組み込んで、局所的な点検から、トンネル・のり面全体の損傷状況を判断することが望ましい。また要注意箇所を抽出し危険リストをとりまとめ、詳細調査、補修計画立案時の検討資料として役立てることができる。

### 3-2 舗装点検

従来の評価方法も非常に重要であるが、補修計画立案時に舗装全面の不陸状況を把握することで、部分補修や縦断修正計画を立てる上で非常に有効な手法である。

### 3-3 定期点検その他

従来の点検方法で把握不可能な損傷に対して、3次元計測を用いることは有効である。また3次元で取得したデータが補修計画に直結する可能性もあるため、今後の活用が望まれる。

## 4. まとめ

従来の管理手法である局所的に発生している損傷を把握することは非常に重要なことである。しかし、山岳トンネルや土工部のり面などは、局所的な形状の測定だけでは、評価が困難であった。そこで、全体形状の把握可能な3Dレーザースキャンを用いることで構造物全体の健全性や安定性を評価することができる。

従来の定期点検時においてもこの機械を一部用いることで、計測時間の短縮および交通規制の縮

減が可能となり、効率的かつ合理的な点検が可能となる。

今後の課題としては、計測した結果を経年で評価し、取得したデータの保管システムの構築、計測マニュアルなどを順次設定していく必要がある。

また3次元システムを利用する上で技術者の育成も必要となる。

#### 参考文献

1) 熊田ほか：高速道路の構造・交通諸元と IRI の関係について，土木学会舗装工学論文集 第7集 pp.10-5，

2002.12

2) 道路構造物の点検要領 阪神高速道路株式会社，H23.12

3) 阪神高速道路神戸管理部管内土工部維持管理マニュアル(案)，H20.

4) 社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧〔第1分冊〕，平成19年

5) 国土交通省道路局：総点検実施要領(案)【舗装編】，平成25年

6) 久保ほか：舗装路面の性能評価法の高度化に関する研究(1) pp.12~13，平成22年

## APPLICABILITY OF 3D MEASUREMENT TO STRUCTURE INSPECTION

Toshiaki FUKAGAWA and Takayasu YOSHIDA

Structures of the Hanshin Expressway are inspected both daily and periodically. Periodic inspection is a close-up damage inspection using heavy equipment under traffic restrictions which is inconvenient for road users and cost-ineffective. Daily inspection is a distant visual inspection focused on prevention of third party damage and thus limited in damage detection. As a solution to these problems, three-dimensional measurement using a 3D laser scanner has been introduced experimentally for damage detection from a distance and monitoring measurement on the structures. This paper reports 3D measurement results and discusses the applicability of the proposed technique to structure inspection.

深川 季秋



阪神高速技術株式会社  
技術部 技術開発課  
Toshiaki Fukagawa

吉田 貴保



阪神高速技術株式会社  
技術部 技術開発課  
Takayasu Yoshida