

# 法面構造物の性状把握への新技術の活用

田家 晃彦

関東技術事務所 施工調査・技術活用課 (〒270-2218 千葉県松戸市五香西6-12-1)

本検討は、国土交通省関東地方整備局が管理する法面構造物について、従来の点検作業における課題やニーズ等を整理し、それらを解決するため新技術による点検の効率化に資する情報収集、課題整理、改善策の検討を行なったものである。

キーワード 構造物点検、メンテナンス、新技術

## 1. はじめに

道路のり面に関する点検は、昭和43年8月に起きた飛騨川バス転落事故の翌月に総点検が全国一斉に実施されたことを契機に「道路防災点検」が制度化された。平成8年2月の豊浜トンネル崩落事故の経験を踏まえ、「道路防災総点検要領」が作成され、これに基づいた「点検」が実施され、「防災カルテ」による点検が導入された。平成25年度の笹子トンネル崩落事故を契機に開始されたのり面工・土工構造物に関する点検等、多数の箇所・膨大なストックに対して道路の安全を保全するために経年的な点検が実施されている。

しかし、道路のり面の点検箇所付近では、植生が繁茂していたり、急斜面等で立入困難な状況が課題となっている。

このような現状を踏まえ、本論文では、より効率的で安全な点検を実施することを目的として、新技術を活用した法面構造物の点検手法について検討を行なったものである。

## 2. 検討内容

法面構造物点検で活用が見込まれる技術の調査・検討を行ない、有効な技術を抽出した。検討結果を踏まえ、「道路法面点検への新技術活用の手引き(案)」を作成した。

## 3. 検討結果

### 3-1 新技術の調査

5,481件のNETIS登録技術を対象に、法面構造物等の性状把握が可能な技術を抽出し「NETIS登録の抽出判定表・データベース」(図-1)を作成した。作成したデータベースには、項目ごとにフィルタの設定を可能とした。NETIS登録抽出判定表には、活用効果調査、実験実施の実績データを紐付けし、有効な技術を抽出可能とした。

NETIS番号	性状把握の関連行為	技術の使用形態	対象構造物	技術名称	副題	概要
10000000000000000000	点検	点検	法面	点検技術		
10000000000000000000	点検	点検	トンネル	トンネル点検技術		
10000000000000000000	点検	点検	橋	橋点検技術		
10000000000000000000	点検	点検	トンネル	トンネル点検技術		
10000000000000000000	点検	点検	トンネル	トンネル点検技術		
10000000000000000000	点検	点検	トンネル	トンネル点検技術		
10000000000000000000	点検	点検	トンネル	トンネル点検技術		
10000000000000000000	点検	点検	トンネル	トンネル点検技術		
10000000000000000000	点検	点検	トンネル	トンネル点検技術		
10000000000000000000	点検	点検	トンネル	トンネル点検技術		

図-1 NETIS登録の抽出判定表・データベース

### 3-2 運用素案の検討

#### (1) 点検時の性状把握ニーズ

既存の点検カルテに着目し、実際の点検時のニーズを確認した。

複数の点検カルテを対象に、現地における点検対象施設ごとの点検に関するニーズと性状把握技術のシーズを検討した。(図-2)

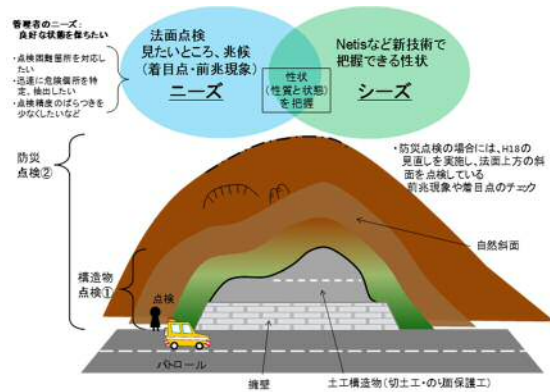


図-2 点検範囲と新技術のニーズの整理

## (2) 新技術の傾向

「NETIS登録の抽出判定表・データベース」を踏まえ、点検ニーズに対する技術シーズ、センサ技術と移動手段で整理を行なったうえで、19件の技術を抽出した。(図-3)

### ①NETIS登録技術の抽出判定表・DBの作成

5,481 技術 H27年度NETIS登録技術数(H28.3末)

### ②法面構築物等の性状把握技術の抽出

495 技術 抽出した性状把握技術数

### ③点検ニーズから見た性状把握技術の抽出

53 技術 法面構築物を対象に抽出した性状把握技術数

### ④活用性による抽出

19 技術 申請会社に問合せし、活用性を確認できた技術数

図-3 NETISから絞り込みした新技術数

## (3) 活用性による抽出

「NETIS登録の抽出判定表・データベース」を活用し絞り込みした新技術19技術を法面構築物や周辺地山などの性状把握対象と地

点・視点の関係に示すと大きく6技術に区分できる。

NETIS登録DBを活用し絞り込みした検討において、地上型レーザスキャナを近年UAV(無人航空機)という移動手段に搭載しているという事例が複数見られており、地上型の性状把握技術がUAVという移動手段に搭載されることにより、性状把握技術のシステムとしての技術開発が進行していると考えられる。

抽出した技術区分と代表的な技術名称を表1に示す。

表-1 技術区分された代表的な技術名称

No.	技術特徴	代表的な技術名称	センサ技術	視点・地点
①	ポールによる高所からの画像撮影	ビューポール	可視画像	やや上空・法面構築物
②	ラジコンによる画像撮影	スカイキャッチャ	可視画像	上空・自然斜面
③	気温差を利用した熱赤外線画像による空洞撮影	ヒビダス	熱赤外線	地上・法面構築物
④	ハンディタイプの電磁波による鉄筋探査	マルチアンテナを用いた非破壊探査システム	電磁波	地上・法面構築物
⑤	レーザスキャナを用いた形状変位測定	3次元レーザスキャナによる構築物の変位測定システム	レーザスキャナ	地上・法面構築物
⑥	スキャナをUAVに搭載した組合せ技術	レーザスキャナをUAVに搭載した技術	レーザスキャナ	上空・周辺地山

抽出された性状把握技術に用いられているセンサは、レーザスキャナ・熱赤外線・可視画像が多い傾向にあった。(図-4)

センサ技術	本体重量と精度等	対象	計測項目
可視画像 (カメラ・ビデオカメラ)	重量465g、35mm、カメラ有効画素数3640万画素 60mの離隔で解像度約1cm。	法面工 自然斜面	ひび割れ・亀裂
形状測量 (レーザスキャナ)	重量3.5kg、アイセーフクラス1、有効測定レート500,000発/秒 精度10mm。	法面工 自然斜面	はらみ出し 3次元形状
温度変化の相違 (サーモグラフィ)	重量270g、温度分解能0.05°C 解像度640×512ピクセル。	法面工 (吹付工ほか)	背面空洞・湧水

図-4 可視画像（カメラ）、形状測量（レーザスキャナ）、熱赤外線画像（サーモグラフィ）の3種類のセンサ技術

### 3-3 現地調査

法面構造物の性状把握技術に対して、活用傾向が多かった3種類のセンサ技術（レーザスキャナ・熱赤外線・可視画像）と、移動手段としては、法面構造物や周辺地山を全体的に把握出来る技術としてUAVに搭載し、千葉県鋸南町元名国道127号の事前通行規制区間において実証試験（写真-1～2）を行い、現地調査結果における新技術の評価結果を整理した。（表-2）



写真-1 現地調査実施箇所  
（千葉県鋸南町元名 国道127号）



写真-2 UAVを用いたセンサ技術  
（レーザスキャナ計測）

表-2 現地調査結果における新技術の評価

適用した技術	対象施設	求められる機能	評価結果コメント	評価
レーザスキャナによる法面構造物の性状把握	吹付法面	3次元形状の計測機能	良好に地形形状を再現できる。	◎
		はらみ出しの把握機能	良好に地形形状を再現できる。	○
	自然斜面	落石の分布状況の把握	点群データにより抽出は可能。	○
		3次元形状の計測機能	点群データにより地形形状を再現できる。	○
熱赤外線画像による法面構造物の性状把握	吹付法面	吹付背面の空洞	空洞が想定された範囲で、打音調査の結果浮きが想定された。	○
		吹付背面の湧水	湧水箇所はその他の箇所と比べ明らかに計測温度が低く抽出可能	○
	自然斜面	植生に覆われた箇所の湧水	植生の影響で評価不能。	×
	可視画像による法面構造物の性状把握	吹付法面	ひび割れの把握機能	パソコン上で画像拡大することでmm単位の亀裂を視認可能
3次元形状の計測機能			植生表面の影響を受け、地表面形状の再現は困難。	△
不可視部の把握機能			法肩部の状況等は視認可能。植生が密生している場合は転石等は視認不能。	○
地形形状の把握機能		実体視に十分耐えうる。	◎	
自然斜面	亀裂の把握機能	植生が無ければ検出可能。	△	
		3次元形状の計測機能	植生の影響を受け、地表面形状の再現は困難。	×

#### 新技術の活用課題

- ・レーザスキャナによる法面構造物の性状把握  
吹付法面については、数センチの段差は把握可能。はらみ出し形状は断面から抽出できるが、経時的な変位は時系列データで比較する必要がある。  
自然斜面については、植生によって性状把握状況に濃淡が生じる。
- ・熱赤外線画像による法面構造物の性状把握  
吹付法面の浮きの度合いは評価不能。  
コア抜き等確認する必要がある。  
構造物背面の湧水範囲までは評価不能。
- ・可視画像による法面構造物の性状把握  
自然斜面については、植生に覆われてしまうと亀裂等の変状や対策状況は、確認出来ない。

## 4. 考察

### 4-1 現状の点検方法

「点検方法」は、点検対象構造物に応じ、路上からの目視点検、近接目視、（触診や）打音検査により異状の有無を確認している。

各種の点検要領として、現在実施されている一連の「防災カルテ作成・運用要領（H8）」<sup>1)</sup>、「道路のり面工・土工造物の調査要領（案）（H25）」<sup>2)</sup>及び「総点検実施要領（案）（H25）」<sup>3)</sup>、「道路



土工構造物点検要領（H29）」<sup>4</sup>について整理し、点検の流れを表-3 ①～④の4つに区分した。

表-3 各種点検の作業の流れの整理

点検段階	平成8年度 道路防災総点 検要領（防 災カルテ）	道路のり面 工・土工構造 物調査要領 （案）	道路土工構造 物点検要領
①防災カルテ 点検箇所絞込 み・点検対象 構造物の選定 〈点検計画〉	机上調査（絞 込み・構造物 の選定）	構造物の抽出	構造物の抽出
②カルテ等作 成のための現 地調査 〈点検実施〉	安定度調査表 防災カルテの 作成	調査記録表の 作成	点検表記録の 作成
③作成したカル テ等を用いた 点検 〈点検運用〉	運用	運用	運用
④個別箇所に 対する詳細点 検等 〈詳細調査〉	着目すべき変 状箇所の調査	詳細調査等	原因究明など の調査

#### 4-2 各点検段階毎の技術の抽出

表-1 で区分した①～④の4つの点検段階において新技術に期待することを明確にして、技術の抽出を行った。

##### (1) 防災カルテ点検箇所絞込み・点検対象構造物の選定 〈点検計画〉

【新技術に期待すること】：路線や全体状況を、一定の精度により効率的に把握したい。

（広域を一定の精度で総括的に調査する手法）

- ・航空レーザ測量（レーザプロファイラ測量）
- ・車載写真レーザ測量（MMS：モービルマッピングシステム）
- ・位置情報付画像の撮影
- ・衛星搭載合成開口レーダによる変動モニタリング

##### (2) カルテ等作成のための現地調査 〈点検実施〉

【新技術に期待すること】：着目すべき変状について、見落としなく抽出し、効率的に点検できる体制を構築したい。

（要注意箇所を箇所毎に見落としなく抽出する手法）

- ・UAV を用いた可視画像撮影
- ・UAV を用いた可視画像解析（測量）
- ・UAV を用いたレーザスキャナ解析

- ・地上レーザスキャナ測量
- ・徒歩によるレーザスキャナ計測技術
- ・簡易熱赤外線画像撮影

##### (3) 作成したカルテ等を用いた点検 〈点検運用〉 〈詳細調査〉

【新技術に期待すること】：防災カルテ等の調査により抽出された着目点について、精度良く、効率的に把握したい。

（抽出されたポイントについて、効率的に精度よく経時変化を把握できる手法）

- ・熱赤外線画像解析
- ・光波測量器を用いたひび割れ測定手法
- ・クラック計測パネル
- ・コンクリート構造物のクラック自動抽出システム

#### 4-3 点検データの組合せ解析手法を見据えた調査結果の整理

「3-3 現地調査」で実施した、「UAV を用いた可視画像撮影」、「UAV を用いた可視画像解析（測量）」、「UAV を用いたレーザスキャナ解析」、「熱赤外線画像解析」の調査結果及び、関東地方整備局管内で活用実績がある「航空レーザ測量（レーザプロファイラ測量）」、「車載写真レーザ測量（MMS：モービルマッピングシステム）」について技術の検証を行い表-4 に活用できる各段階毎に活用の期待できる技術について、活用の目的毎に適用を評価した。

表-4 調査実績のある技術の検証結果の整理

活用段階	活用の目的	評価					
		①〈点検計画〉段階		②〈点検実施〉段階			③〈点検運用〉段階 ④〈詳細調査〉段階
		航空レーザ測量 （レーザプロ ファイラ測量）	車載写真 レーザ測 量 （MMS）	UAVを用 いた可視 画像撮影	UAVを用 いた可視 画像解析 （測量）	UAVを用 いたレーザ スキャナ 解析	熱赤外線 画像撮影
基礎デー タ取得	地域特性把握	◎	×	×	×	×	×
	高線状況把握	○	◎	×	×	×	×
	地形判読	◎	×	◎	◎	◎	×
	構造物状況把握	×	○	×	×	×	×
個別箇所 データ取 得	災害リスク 把握	×	×	○	×	×	×
	孕みだし	×	△	△	△	○	×
	落石	△	×	△	△	△	×
	その他	○	○	○	○	○	○
	カルテ等の精度向上	◎	◎	○	○	◎	×

◎：可能、○：可能性あり、△：要検討、×：適用に難あり、－：対象外

- ・航空レーザ測量は、広域の背後地形まで把握が可能。スケッチ等で対応していたカルテ図の精度は飛躍的に上昇する。
- ・車載写真レーザ測量は、道路周辺の状況を詳細に把握出来、カルテ図の精度は向上する。
- ・UAV を用いた可視画像撮影及び可視画像解析（測量）は、対象箇所の地形判読に有効である。

- ・ UAVを用いたレーザスキャナ解析は、対象箇所の地形把握に有効。スケッチ等で対応していたカルテ図の精度は飛躍的に上昇する。
- ・ 熱赤外線画像撮影は、吹付法面の空洞化や湧水等を抽出出来る可能性がある。

#### 4-4 点検データの組合せ解析手法

表-4で整理された活用が期待される新技術の組み合わせ手法を見据えた整理を行い、「道路法面点検に活用が期待される新技術の区分」を図-5に示した。

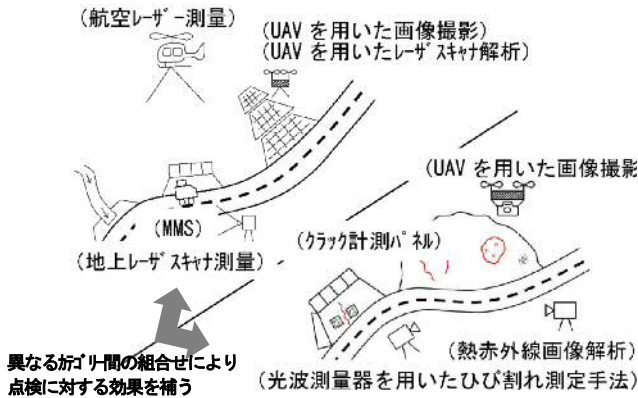
点検段階を踏まえ、「広域や対象斜面全体を把握するための技術（測量や全景把握）」と「対象斜面や構造物の現況を把握する技術（計測や調査等の詳細調査技術）」の区分により、のり面変状確認データの組合せ解析手法について検討した。

航空レーザ測量は広域の測量に適しているが、高高度からの計測となるため点群が疎らとなり、道路周辺の詳細な地形データや構造物の把握には適していない。

一方、車載写真レーザ測量（MMS：モービルマッピングシステム）」は、道路周辺の詳細な地形データや構造物の敷設状況の把握には点群は密であり、非常に有効であるが、道路を走行する車両からレーザを照射するため、道路から離れた箇所ではほとんど計測されず、広域の地形把握には適していない。

このため、双方の技術を重ね合わせて利用することで、広域の地形状況と道路周辺の詳細な情報が入手可能となる。

#### 「広域や対象斜面全体を把握するための技術」



#### 「対象斜面や構造物の現況を把握する技術」

図-5 道路法面点検に活用が期待される新技術の区分

組合せ解析手法の検討例として、「航空レーザ測量（レーザプロファイラ測量）」と「車載写真レーザ測量（MMS：モービルマッピングシステム）」の重ね合わせの点群データ取得状況の比較を図-6～8に示す。



図-6 〈航空レーザ測量〉  
斜め上空から広域の点群状況  
本線から離れた箇所も多くの点群データが計測され、地形形状が確認できるが、詳細な地物は確認できない。



図-7 〈車載写真レーザ測量（MMS）〉  
斜め上空からの点群状況

道路周辺は密でセンターライン等付帯工等視認可能であるが、本線から離れた箇所はほとんど計測されていない。



図-8 <航空レーザ測量と車載写真レーザ測量（MM S）の重ね合わせ>  
本線から離れた箇所の地形形状も、道路周辺域の詳細な地物も把握可能である。

直轄国道ののり面に関する点検は、航空レーザ測量（レーザプロファイラ測量）等の新技術を用いて基図を整備することで、国道付近だけでなく背後や一連の斜面状況が把握可能となり、精度の高い点検が実施できるようになる。

この基図に様々な既存資料や設計図面、点検履歴等の情報を一元管理できる体制（将来的にはGIS等の活用）を策定可能になれば、点検の効率化に役立つものになると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 「防災カルテ作成・運用要領（H8）」
- 2) 「道路のり面工・土工造物の調査要領（案）（H25）」
- 3) 「総点検実施要領（案）（H25）」
- 4) 「道路土工造物点検要領（H29）」

## 5. まとめ

### 5-1 「道路法面点検への新技術の活用の手引き（案）」の検討

以上を踏まえ、「道路法面点検への新技術の活用の手引き（案）」を作成した。

「道路法面点検への新技術の活用の手引き（案）」は、現状の道路のり面点検について、現場作業の効率化、高度化、経済性等の観点から、新技術を用いて点検を補助する手法について紹介するものです。

「道路法面点検への新技術の活用の手引き（案）」の構成に当たっては、新技術を補助的に使うことで法面構造物の性状を効果的に把握できるよう、道路防災点検等の作業の流れを念頭に、新技術を導入する点検段階に応じた整理を行った。

また、技術の抽出にあたっては、UAVの活用に限らず、車載・地上計測等の利用なども含めて検討した。

道路に対する斜面・のり面の危険因子を再確認した状態における維持管理は、新技術を利用し、より実効的かつ効率的に実施していく必要がある。

## 6. 今後の課題

### 6-1 今後の道路のり面に関する点検についての提言

構造物の変状や地山の状況を経年的に把握し、変位量や変動状況を把握することが必要不可欠である。