

大型除草機械によるモグラ（小動物）穴の面的検出システム：CalSok の開発および、社会実装への取り組み事例の紹介

朝日航洋株式会社

しら い まさたか たみ の たかおみ すぎやま ふみのり せき あきのぶ いとう まる み
白井 正孝, 民野 孝臣, 杉山 史典, 関 晃伸, 伊藤 優美

1. はじめに

今後増大する老朽化インフラへの対策として、センサーやロボットなどの新技術の導入と活用が期待されている。国土交通省が平成 26 年に実施した「社会インフラへのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発に係る公募」では、計測から分析までを組み合わせたモニタリング技術の開発が求められた。

河川堤防分野において、河川堤防を効率的にモニタリングする技術として採択を受け、当社が開発した技術が「大型除草機械によるモグラ（小動物）穴の面的検出システム」（以下、「CalSok」という）である（図－1～3）。本稿では、開発から社会実装に向けた試行導入の一例について紹介する。

2. 開発の背景

河川堤防の外観の変状は、年 1 回以上の徒歩による目視点検で確認しているが、下記の課題がある。

- ・徒歩による目視点検は、労力が多大であり、長大な堤防の変状を把握することが困難
- ・経年的かつ、広範囲な堤体のはらみだしなどのマクロな変状は、目視では把握しづらい
- ・定量的な点検の指標がないため、点検者の経験に頼る部分が多く、客観的な評価が困難

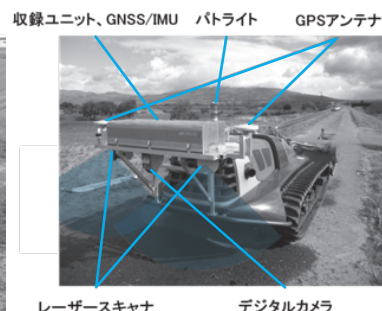
上記に対する解決策の一環として、これまで航空レーザ、MMS 等による 3 次元点群データを用いた堤防管理が試行されている。しかし、堤防法面のデータ取得という点においては、植生が繁茂している場合に点密度が十分でなく、また、



図－1 CalSok（除草機後部）



図－2 計測の様子



図－3 機器構成

MMS による堤防天端上からの計測では、法尻までを網羅したデータ取得に限界がある。これらの解決手法として、除草後の計測、高水敷からの補完的計測があるが、計測時期の限定や追加計測コストの増大等、有効な方法とは言いがたい。

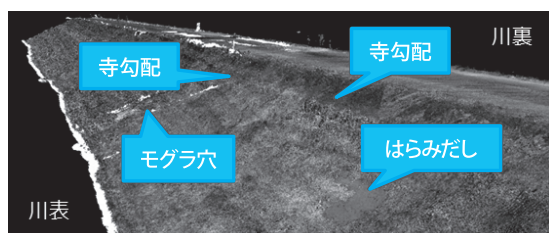
以上のような背景を踏まえ、当社では、計測時期に左右されることなく除草作業と同時に堤防法面上から至近距離で計測できるシステムとして、CalSok を開発した。

3. CalSok とは

上記の課題を受けて開発した CalSok の技術的特徴は以下のとおりである。

- ・除草作業時に計測するため、植生の影響を受けることなく堤防法面の 3 次元点群データが取得できる
- ・堤防法面に対し垂直かつ近接にレーザ計測するため、高密度（約 10,000 点 /m² 以上）な 3 次元点群データが取得可能であり、より堤防法面の地盤を捉えやすい
- ・計測データからはモグラ（小動物）穴に加え、不陸や陥没等の変状が定量的に把握でき、経年データの比較により変状の進行がモニタリングできる（図－4）
- ・計測システムは除草作業者が簡易に取付・操作が可能であり、計測したデータはクラウドを通じてデータ解析を行い、堤防点検に利活用できる（一部開発中を含む）

CalSok の研究開発、現場検証等の経過は表－1 のとおりである。次章より、この経過に沿って取り組み事例の一例を紹介する。



図－4 堤防変状マップ（鳥瞰表示）

表－1 これまでの経緯一覧

年度	取り組み事例
平成 26～28	SIP 助成における研究開発
平成 28～29	SIP 地域実装チームとの連携による揖斐川における 2 時期（6 月、10 月）での試行導入
平成 29～30	円山川における 2 時期（6 月、11 月）での試行導入
平成 29	国土交通省国土技術政策総合研究所より測量業務を受託

4. SIP 助成における研究開発

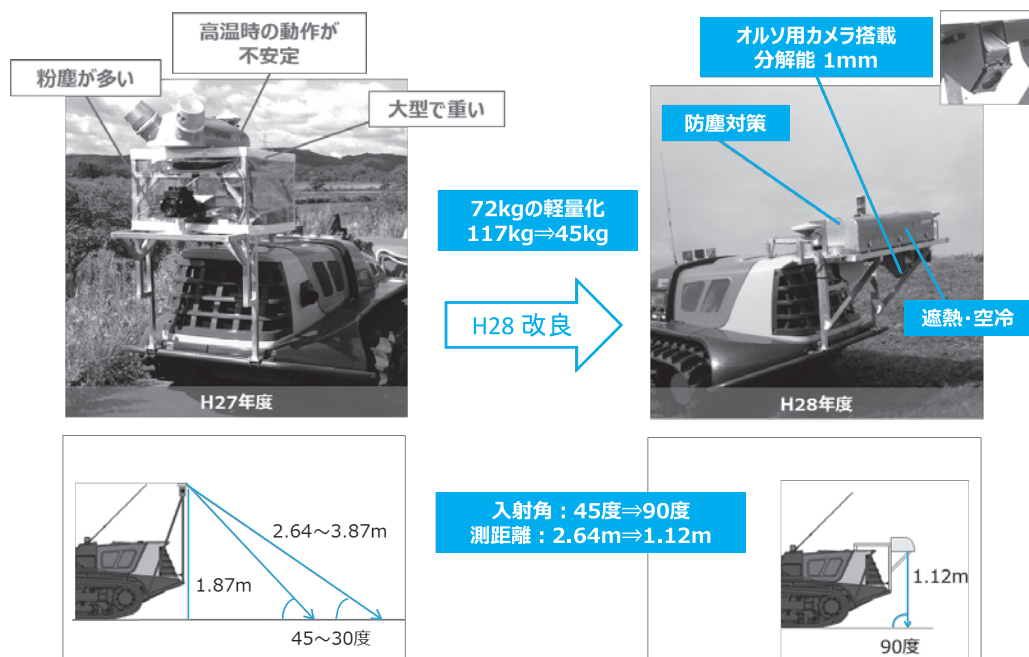
平成 26～28 年度の 3 年間では、内閣府「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）」の助成のもと、福島県の阿賀川を主フィールドとして下記の研究開発および現場実証を行った。

- (1) 大型除草機に搭載し、モグラ等小動物穴の検出ができる計測機器の開発
- (2) 計測機器における精度限界の把握
- (3) 堤防の変状を自動検出するシステムの開発
- (4) 堤防点検を支援するツールの開発

(1) 大型除草機に搭載し、モグラ等小動物穴の検出ができる計測機器の開発

小動物穴の計測には 2.5 cm の点間隔が必要と仮定し、市販の MMS 機材を用いた原理試作機（図－5 左側）により試験計測を繰り返し、課題の抽出を行った。現場での試験では、炎天下の作業による高温障害、除草機の振動等による障害といった課題が出た。また法面に対し斜めに照射したレーザでは、小動物穴の中までレーザが到達しないという課題も明らかになった。

以上の課題を踏まえ計測機器の要件を整理し、平成 28 年度に現在の CalSok の原型を開発した。具体的には、計測機器の防振・軽量化・防塵・遮熱対策と、レーザが法面に垂直に照射できるよう、機器を設計した（図－5 右側）。



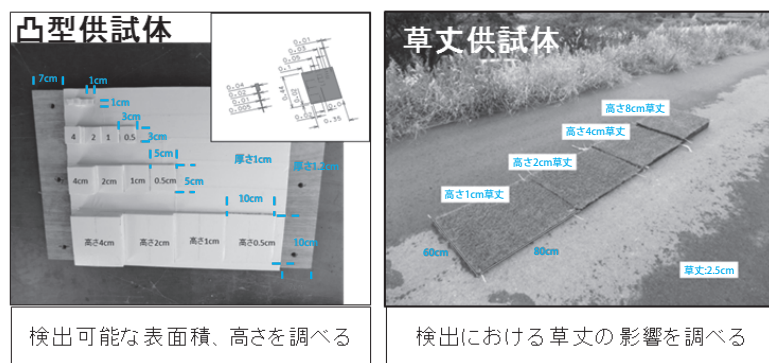
図－5 機器開発

(2) 計測機器における精度限界の把握

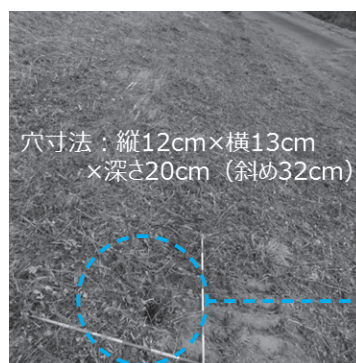
計測機器の精度限界を確かめるため、目的別の供試体（図－6）を作成し、試験計測を行った。試験計測の結果では、平面分解能 5×5 cm、高さ分解能 4 cm（植生を模した供試体を含む）が

計測精度限界であることが確認できた。

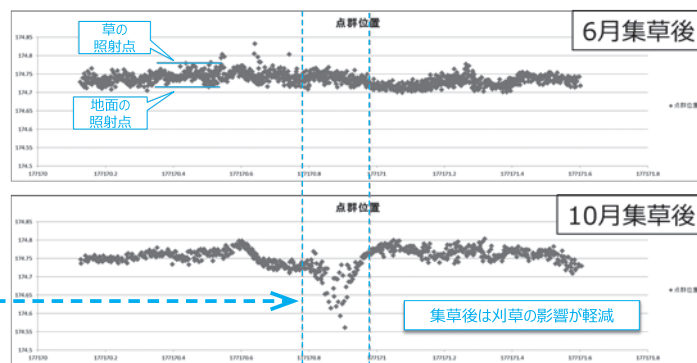
次に、精度限界を実際の堤防で確認した事例を示す。平成 28 年 6 月と 10 月に計測したデータからは、新たに発生した小動物穴が確認できた（図－7, 8）。また、はらみだしを模した模擬体（図



図－6 利用した供試体



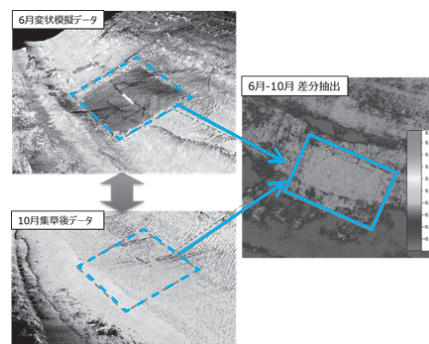
図－7 小動物穴



図－8 2 時期比較による小動物穴の取得状況



図－9 ゴムマットによるはらみだし模擬



図－10 2 時期の差分検出

－9) の有無から差分を検出し、高さ 3 cm 以上の標高差分を検出したことを確認した(図－10)。

(3) 堤防の変状を自動検出するシステムの開発

堤防の目視点検に利用するには、除草後 1 週間程度で解析結果を提供する必要がある。このため、計測データから検出したい変状の規模をパラメータとして与え、変状箇所を自動検出するシステムを開発した。

(4) 堤防点検を支援するツールの開発

自動検出した変状データを目視点検で活用するため、支援ツールのプロトタイプも並行して開発した。支援ツールは、机上点検システム、目視点検システムの 2 つのシステムで構成されている。机上点検システムは、パソコン上で自動検出された変状の確認を行い調査箇所の絞り込み（スクリーニング）を行う。一方の目視点検システムでは、上記で絞り込んだ調査箇所をスマートフォンにより現場利用する。利用にあたっては、地図表示と AR 表示を併用することで変状の発見が容易になり、目視点検の効率化が図れることを想定した。

(5) 第 6 回社会インフラのモニタリング技術活用推進委員会

平成 29 年 2 月には、上記委員会での中間審査が行われた。中間審査では「直轄現場での試行により検出精度が確認できれば、詳細調査箇所の絞り込みなどにより目視点検の時間や労力が削減で

きるため、堤防変状の面的把握が必要な現場での採用が期待できる」※とのコメントを受けた。これにより、平成 29 年度より直轄河川での試行へのフェーズに入ることとなった。

※引用元：第 6 回社会インフラのモニタリング技術活用推進検討委員会 公開資料 2 個別の評価結果

(6) まとめと課題

本取り組みでは、植生の影響を受けずに堤防法面から近接かつ垂直に堤防の 3 次元点群データを計測できる機器を開発し、現場実証にてモグラ等小動物穴が検出できることを確認した。また、計測データから堤防変状を自動検出するシステム、検出結果を活用する支援ツールのプロトタイプを開発した。

一方、本検証フィールドはモグラ等小動物穴以外の堤防変状がほとんどなく、「堤防等河川管理施設の点検結果評価要領（国土交通省水管理・国土保全局河川環境課、平成 29 年 3 月）」で示されている他の変状についての検証が困難であった。また、変状の自動検出システムや支援ツールの開発においても、検証サンプルの不足が影響していたことから、他現場での実証によるデータの蓄積が課題であった。

以上を踏まえ、表－1 に示すように、揖斐川と円山川のフィールドでそれぞれ試行的に導入し、実証した。その中の最新の事例として、円山川での実証について次に報告する。

5. 円山川における試行導入

円山川での現場実証における主な目的は、以下のとおりである。

- (1) 変状の自動検出システムの検証
- (2) 堤防点検への適用性の確認

(1) 変状の自動検出システムの検証

変状の自動検出システムでは、変状の規模をパラメータとして与え、変状箇所を自動的に検出するため、点検者が変状と認識する規模を定量化することが必要である。そこで6月に計測したデータを用い、複数のパラメータで自動検出を行った上、出水前の堤防点検に同行しパラメータを決定した。

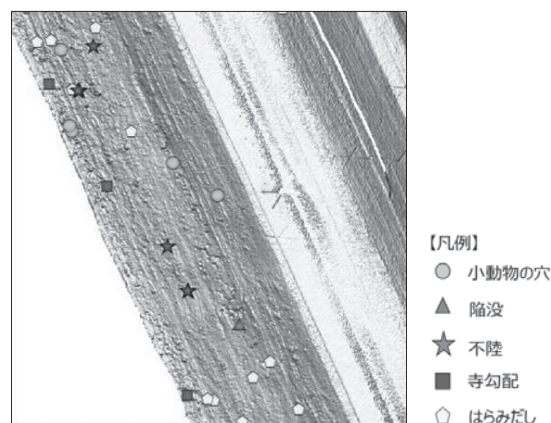
次に、自動検出結果の妥当性を確認するため、10月に計測したデータに上記パラメータで変状検出を行い（図－11）、模擬点検を実施した。模擬点検では、自動検出した変状73カ所のうち45カ所をサンプルとし「現地での変状の有無」、「河川カルテへの記載の可否」を、複数の点検者同行のもと確認した。45カ所のうち43カ所が変状確認でき、うち16カ所は河川カルテへの記載候補となりうる変状であった（表－2）。

(2) 堤防点検への適用性の確認

堤防点検への適用性の検証として、2時期のデータによるモニタリングと支援ツールの評価のため模擬点検を実施した。

モニタリング評価では、2時期の計測データを用い、はらみだしが確認された9.4kp+150mから9.6kpの区間を対象に、それぞれ堤防展開図（堤防表面の凸凹を段彩図として可視化し、水平に投影した図）を作成し、さらにその差分を同様に可視化した堤防差分図を作成した（図－12）。

その結果、堤防展開図・差分図共に、大きな変化がないことを確認でき、モニタリングに有効であることがわかった。また、支援ツールでは変状



図－11 パラメータ調整後（10月）

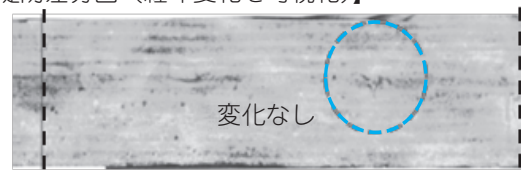
表－2 自動検出と目視点検との検証結果

堤防点検項目	自動抽出結果	検証サンプル	現地で確認した変状	カルテへの記載候補
小動物の穴	23	9	9	8
陥没	12	9	9	5
不陸	10	9	9	1
はらみだし	12	9	8	0
寺勾配	14	9	8	2
その他	2	—	—	—
総数	73	45	43	16

【堤防展開図（変状の検出）】



【堤防差分図（経年変化を可視化）】



図－12 堤防展開図・堤防差分図

箇所をスマートフォンに事前に登録し、GNSSによる変状箇所へのナビゲーション機能の効果について検証し、模擬点検において一定の評価が得られた。

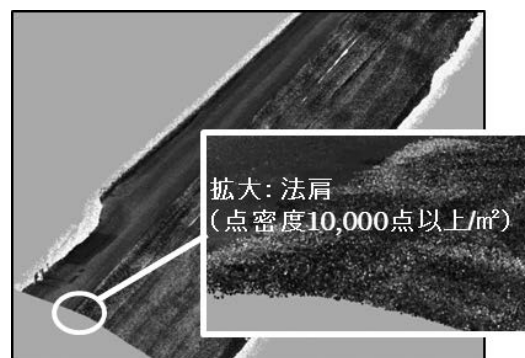
(3) まとめと課題

本取り組みでは、変状規模に対応したパラメータによる変状の検出結果が、目視点検において検出対象となる変状をほぼ網羅しており、一次スクリーニングとして一定の効果があることを確認した。

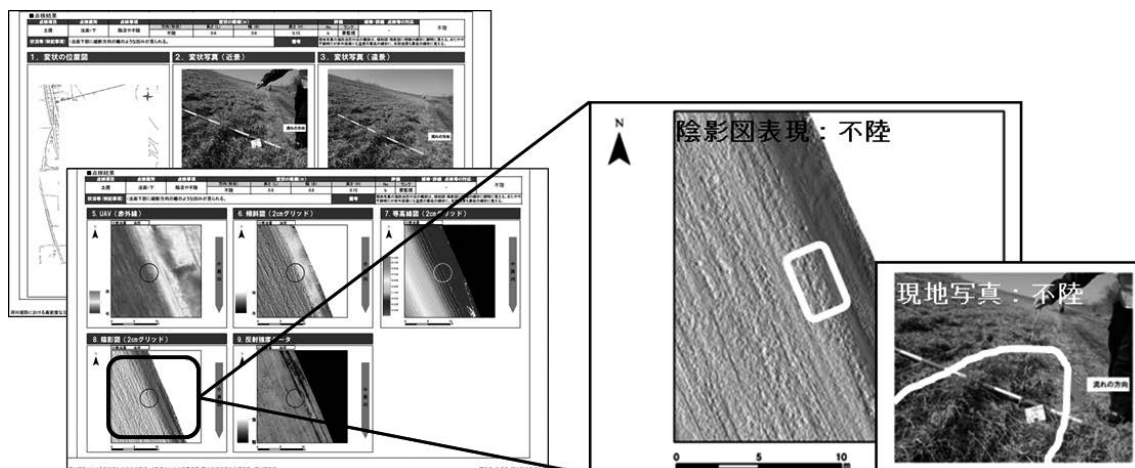
また堤防展開図と堤防差分図は、目視点検では判読が困難な変状の可視化だけでなく、モニタリングへの適用性を把握することができた一方、他の河川での検証、2時期以上の評価等、さらなる検証が必要である。支援ツールについては、ナビゲーション機能として一定の効果を得られたが、スマートフォンのGNSS精度の限界による機能改良等の課題も明らかとなった。

6. CalSok を利用した高密度な堤防測量業務の受託

国土交通省国土技術政策総合研究所(以下、「国総研」という)は、「河川堤防における高密度な3次元点群データ取得のための測量業務」を計画し、当社が実施した。国総研では河川における3次元点群データの利活用を検討しており、本業務ではCalSokによって得られた3次元点群データの表示方法を検討し、表示による変状の見え方の違いを整理した。「堤防等河川管理施設の点検結果評価要領(国土交通省水管理・国土保全局河川環境課, 平成29年3月)」に記載された土堤の主な変状について、変状種別ごとに3次元点群データの表示例と現地写真等を並べ、変状のカタログを作成した(参考例1, 2)。



参考例1 点群データ(鳥瞰表現)



参考例2 変状カタログと一部拡大

7. ま と め

SIP 助成により研究、開発された CalSok から得られた成果としては、開発当初のモグラ穴等の小動物の穴の検出だけでなく、はらみだし、寺勾配、不陸、陥没等、目視点検では判読が困難な堤防変状も含めた詳細な変状の検出、および複数時期の計測データによる経年モニタリングに有効であることを確認した。また変状を自動検出するシステムについても、試行導入を通して一定の効果を得ることができた。

一方、変状の自動検出の有効性は、引き続き他の河川の堤防法面で計測を実施し、設定したパラメータの適用範囲等の検証を重ねる必要があると考える。

8. 今後の展望

本技術を今後、現場で広く普及させるためには、効率化や省力化面の検証や、機能拡充が必要と考えている。円山川で課題に挙げた変状の自動検出システムのパラメータの精度を高めることはもとより、支援ツール（図－13）の機能を充実させることで、点検者がより効率的に点検を実施できることを期待する。



図－13 支援ツールの一例

また、これまで本技術は、大型除草機への搭載を前提に開発を行ってきたが、試行を進める中で小型除草機への搭載ニーズが高いことが明らかになったため、搭載を検討中である。

本技術が現場で利用されることで堤防点検の効率化に貢献することを願い、本稿の結びとする。

謝辞

本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の助成によって研究開発を行い、阿賀川河川事務所の協力により実証を行った。また、本稿では紹介できなかったが、SIP 地域実装チームとの連携による試行導入は木曽川上流河川事務所、揖斐川第二出張所、岐阜大学等の協力を得て実施した。円山川における試行導入は、豊岡河川国道事務所等の協力を得た。各取り組みの関係者の方々には、この誌面を借りて謝意を表す。