

円山川における堤防の 維持管理コスト縮減に向けた取り組み

横山 雄一¹・名村圭司²

¹国土交通省 近畿地方整備局 企画部 技術管理課 (〒540-8586) 大阪府大阪市中央区大手前1-5-44

²国土交通省 近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 (〒668-0025) 兵庫県豊岡市幸町10-3

河川堤防は、洪水から地域住民の生活・資産を守る上で、大きな役割を担っているため、特に重要である。そこで、豊岡河川国道事務所が行っている3つの取り組みを紹介する。3つの取り組みとは、①堤防点検の省力化・高度化、②除草した刈草の処分費の削減、③除草頻度・刈草の処分量の削減である。①は、民間会社が現在技術開発を進める、堤防法面の計測システムを円山川で現地検証を行った。また、②では、集草・梱包した刈草を一般農家に配布することで、刈草の処分費を削減。一部区間では刈り放しを行う事で集草・梱包・運搬・処分の費用削減を実施した。③では、近年導入が進められている堤防の植生転換の試験施工を実施している。

キーワード SIP, モニタリング技術, 先駆的導入, ICT技術

1. はじめに

円山川の堤防は、地域の地盤特性である軟弱地盤上に構築されており、年々沈下傾向にあるため、かさ上げや拡幅等の強化を繰り返し、安全性が確保されてきた。特に、外観点検による日常の状態把握が重要である。

そのため円山川では、これまで航空レーザ計測、MMS等による3次元点群データを用いた堤防管理を実施している。一般的に堤防法面のデータ取得という点においては、航空レーザ計測では植生が繁茂している場合には点密度が十分ではない。また、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等の制約が大きな課題である。その課題を解決する方法として、除草後の計測、高水敷からの補完計測等があるが、時期が限定される、コストが増大する等、有効な方法とは言い難い。このような背景を踏まえ、朝日航洋株式会社では計測時期に左右されることなく、堤防法面上から至近距離で計測するCalSokを戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) で研究した。ここでは、円山川において試行的に導入し、堤防の維持管理に3次元点群データの活用が有効であるか検証した。その結果を報告する。

また、その他の取り組みとして、集草・梱包した刈草 (刈草ロール) を一般農家へ配布したり、一部区間で刈り放しを実施することで処分費を縮減、堤防の裏面の張芝を草丈の低い草種 (低草丈草種) へ転換することにより除草にかかるコスト全体の縮減を目的とした植生転換の試験施工を実施している。本論文ではこれらの取り組み

についても、前述の検証結果と合わせて紹介する。

2-1. SIP技術 (CalSok) の紹介

CalSokは、電源ユニット、収録ユニット、レーザスキャナ (2基)、にデジタルカメラ、GNSS/IMUで構成された計測システムである。CalSokの特徴として、大型除草機の後部に簡単に装着することができ、除草・集草直後の堤防法面を計測する。また法面に対してレーザの入射角が90°となるよう垂直方向に設置しているため (図1)、3次元点群データ上では、モグラ等の小動物の穴、浸食 (ガリ)、不陸、陥没等の微細な変状を捉えることができる (表1、表2)。



図1. CalSok 設置状況

表1. 全体性能

全体性能	
全重量	45kg (計測機: 35kg, マウント: 10kg)
消費電力	120w
点群密度	0.58cm (平均点間隔)
測距精度	±0.7cm ※地点: 1m~10m
オルソ解像度	1mm
位置精度	水平: 8cm, 標高: 15cm
データ容量	約15GB/hour

表2. センサ性能

センサ性能		
レーザスキャナ	発射点数	57,000点/秒
	計測可能距離	0.7m~80m
	照射角度	190度
	反射強度データ	取得可
	台数	2台
デジタルカメラ	画素数	1.9M×1台
GNSS/IMU	位置精度	2~5cm
	Roll, Pitch精度	0.025度
	Heading精度	0.08度

2-2. CalSokによる計測・解析

2-2.1 .計測概要

計測区間は、豊岡河川国道事務所と朝日航洋株式会社での協議の結果、比較的変状の多い区間（右岸 9.2～10.2kp）の川表・川裏法面とした（図2）。計測時期は比較検討ができるよう、6月（台風期前）、10月（出水期前）の2時期とした。計測は、より正確な結果を得るため集草作業と同時に進行し、レーザ計測機で集草直後の堤防法面の地盤地形、及びカメラ画像で法面状況をそれぞれ取得した。計測実施状況を図3に示す。



図2. 計測位置図

図3. 計測実施状況

2-2.2. データ解析

計測データに対し、法面以外の周囲の植生、空気中の塵等のノイズ処理、及び刈り幅単位の計測データの統合処理を行い、連続した3次元点群データを作成した（図4）。また3次元点群データ上で捉えた堤防法面の変状と対応する現地状況を図5、図6に示す。

図5、図6に示す通り、CalSokによる至近距離からの計測により、従来の航空レーザ、MMS等の計測では取得が困難な堤防法面の詳細な地形形状を捉えていることを確認した。

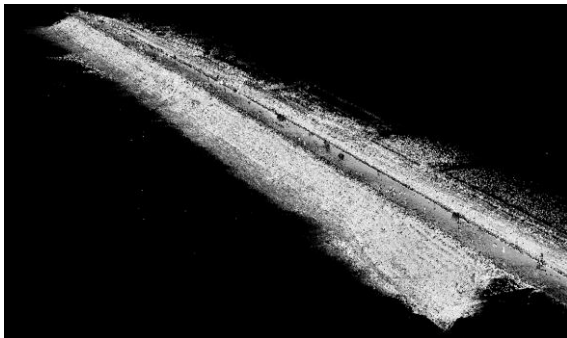


図4. 解析処理後の3次元点群データ



図5. 不陸の検出状況

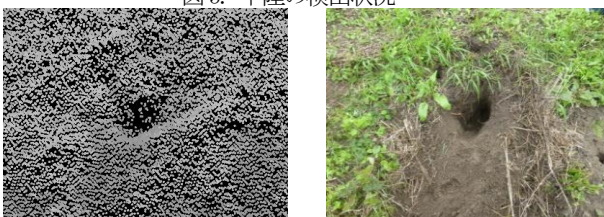


図6. モグラ等の小動物穴の検出状況

2-3. 3次元点群データを活用した変状の自動抽出

本試行業務では、詳細な法面の形状把握だけでなく、計測データから効率的に堤防変状の候補となる箇所の抽出を目的とし、変状種別に対応したパラメータ設定に基づく自動抽出の有効性を検証した。具体的には6月に計測したデータを対象に自動抽出を行うと共に、別途現地を確認した変状箇所、大きさ等を基にパラメータ設定値を調整した。調整前後での抽出状況を図7、図8に示す。その結果、パラメータ調整後は変状の候補となる箇所の大幅な絞り込みが可能となった。また10月の計測データに対しては、調整後のパラメータで自動抽出を行い（図9）、6月の計測データによる結果と比較した（表3）。その結果、10月の計測データでは6月計測データと比較して全体的に抽出箇所数が多い結果となった。これは10月22日の台風21号により、堤防法面が大きな影響を受けており、その影響の度合いが自動処理の抽出件数の差として表れていることを確認した（図10、図11）。

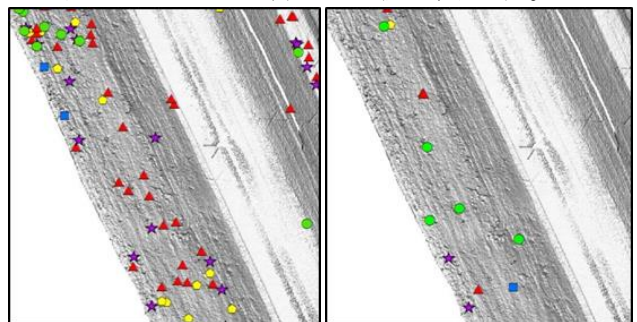


図7. パラメータ調整前（6月）

図8. パラメータ調整後（6月）

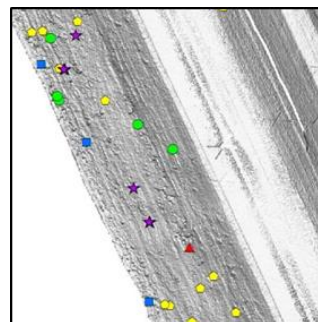


図9. パラメータ調整後（10月）

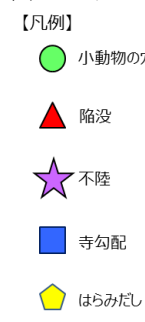


表3. パラメータ調整前後の自動抽出処理結果の比較

堤防点検項目	小動物の穴	陥没	不陸	はらみだし	寺勾配	その他	総数	
調整前	6月	1753	264	149	47	54	120	2387
調整後	6月	16	9	5	1	2	2	35
調整後	10月	23	12	10	12	14	2	73



図10. 台風前の堤防



図11. 台風後の堤防

2-4. 本技術による目視点検の高度化・省力化の
効果検証

目視点検で抽出対象となる変状が、自動抽出の結果にどの程度含まれているのか検証した。

具体的に、10月に実施した計測データの抽出結果の中から、小動物の穴、陥没、不陸、はらみだし、寺勾配の5つの変状毎にそれぞれ9か所（検証サンプル）を抽出し、通常の年2回行われる目視点検（堤防詳細点検）で対象となる箇所数を確認した。その結果を表4に示す。

抽出した45か所の変状は、ほぼ現地で確認ができ、さらに、机上で事前に変状箇所を特定出来ていた。従来と比較して、効率的に目視点検を実施できることを確認した（図12）。また、目視では判読が困難な、はらみだし、寺勾配は、それぞれ1箇所ではあるが現地では確認できなかった。この要因については、自動抽出による過検出の可能性がある一方で、目視では判読が困難な変状を捉えている可能性もある。したがって、定期的なモニタリングによる変状の有無を確認することが重要である。

そこで2時期のデータを用い、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、水平に投影して作成）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13）。

その結果、この期間内での大きな変化は確認できなかったが、堤防展開図・差分図共に、定期的なモニタリングに有効であることを確認した。

表4. 自動抽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



図12. CalSok計測データを用いた目視点検の様子

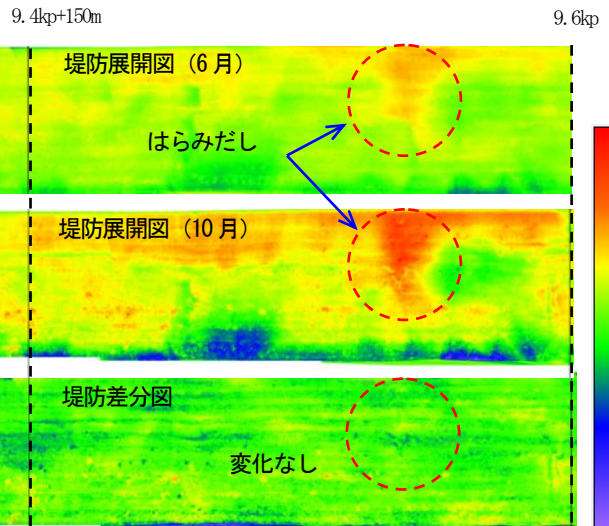


図13. 堤防展開図・堤防差分図

3. 刈草ロールの配布と刈り放し

除草後の刈草は通常、一般廃棄物として運搬・処分が行われるが、円山川では一部刈り放しを行っている区間を除く全ての除草区間において刈草のロール化及び一般農家への配布を行っている。

刈草ロールの配布は年2回、5月と9月に地元のJA（JAたじま（香住営農生活センター）・JA京都（久美浜支店営農生活センター））宛てにFAXを送付して希望者を募集し、現地まで運搬・荷下ろしを行っている（図14）。

また、集草・梱包・運搬・処分を行わない刈り放しという手法があるが、刈り放しを実施する為には、風で刈草が飛んでも地元の住民に影響が出ないこと、出水で刈草が河川に流れない川裏側であることといった現場条件を満たす必要がある。円山川ではこの条件を満たす赤崎地区右岸の川裏側（円山川右岸26.0k～26.6k）にて刈り放しを実施した。（図15）



図14. 刈草ロール配布の流れ



図15. 刈り放しを実施した区間（円山川右岸 26.0k～26.6k）

4-1. 低草丈草種を用いた堤防植生転換の試験施工の概要

河川堤防は流水や風雨等から堤防を保護するため施工後に張芝が行われるが、通常の芝は放っておくと徐々に草丈が伸びる。草丈が伸びると堤防法面の視認性が悪くなり、変状の確認が困難となる。そのため、年2回、堤防点検を行う前に堤防除草を行っている。また、河川堤防を維持管理する上で、外来種の繁茂が問題となっている。オオキンケイギク、セイバンモロコシ等に代表される外来植生は、草丈が高く根が浅く張るといった特徴があり繁殖力も高い。植生転換とは、低草丈草種を用いた年2回の除草に係るコストの縮減及び外来植生の駆除を目的として実施されるが、円山川では寒冷地における低草丈草種の生育、施工コスト・維持管理手法の検討を行うため、試験的に低草丈草種を用いた張芝の施工を実施した。

本施工の工期は平成28年5月16日から平成28年6月18日であり、施工場所は円山川水系奈佐川右岸3.6km付近で行い、改良イヌ芝、改良ムカデ芝、改良コウライ芝（以下TM9）、イワダレ草（ポット苗）の4草種を6m毎に等間隔で施工した。また、通常の張芝と比較するため、野芝を合わせて施工した。（図16、図17）施工条件については表5の通りである。



図16. 各低草丈草種の張り芝施工状況（施工中）

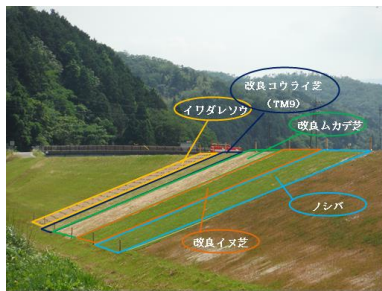


図17. 各低草丈草種の張り芝施工状況（施工後）

表5. 低草丈草種施工及び維持管理における諸条件

草種	施工形態	施肥	散水	雑草への処置
改良イヌ芝	張り芝	なし	なし	特になし
改良ムカデ芝	張り芝	なし	なし	特になし
改良コウライ芝 (TM9)	張り芝	なし	なし	特になし
イワダレ草	株植栽(ポット苗)	なし	なし	特になし
野芝	張り芝	なし	なし	特になし

法面中央付近・法尻付近)にて行き、平成29年11月より、遠景6定点、近景3定点を目視にて行っている。

平成28年度から平成29年度にかけて行ったモニタリングでは、改良イヌ芝（図18）、改良ムカデ芝（図19）については、気温の上昇する6月下旬頃から草丈が伸び、気温が下がる10月下旬から草が枯れ初めることにより草丈も短くなるといった、通常のノシバと同じような生育が確認された。一方で、TM9（図20）は年間を通して草丈や被覆率はほとんど変わらず、外来種や別草種、雑草の進入もほとんど見られなかった。イワダレ草については、気温が下がり日照時間も少ない11月から翌年3月の間は葉が枯れ、茎も灰色になっていたが、気温が上がってきた5月には再び緑色の葉が付くようになり、完全には枯れていないことが分かった。また、被覆率は施工から約2年経った現在においてもほとんど変化がなく、法面に裸地が目立ち、雑草の進入も見られている。（図21）

改良イヌ芝、改良ムカデ芝、TM9については、雑草の進入はほとんど見られなかったものの、少量の雑草が確認されている。この雑草が将来どの程度まで繁茂するかは今後の調査状況次第ではあるが、完全な植生転換のためには、被覆率が十分確保されるまでの間定期的に雑草や外来種等の抜根を行う事が望ましい。



図18. 改良イヌ芝（左：H29.4.7 右：H29.7.5）



図19. 改良ムカデ芝（左：H29.4.7 右：H29.7.5）



図20. TM9（左：H29.4.7 右：H29.7.5）

4-2. 植生転換実施箇所のモニタリング状況及び現状と課題

モニタリングは平成28年度及び平成29年10月までは月に1回、遠景2定点、近景3定点（堤防法面の法尻付近・



図21. イワダレソウ (左: H29.4.7 右: H29.7.5)

謝辞: 本論文を発表する経緯となり、また論文の執筆にご協力頂きました。CalSokの研究開発を進めている朝日航洋株式会社さま、円山川河川巡視支援業務、近畿地域づくりセンター豊岡支店さま、並びに円山川下流維持作業、(株)川嶋建設さまにおかれましては、この場をお借りして御礼申し上げます。ありがとうございました。

参考文献

- 1) 朝日航洋株式会社: 円山川フィールド試行実施報告書

6. まとめ

CalSokの計測から得られた成果は、はらみ出し、寺勾配、モグラ穴、不陸、陥没等、目視点検では判読が困難な堤防変状の抽出、及び2時期以上の計測データによる差分抽出等が有効であることを確認した。また、集草作業と同時に計測することから、計測時期、計測コースの設定等、従来の航空レーザ、MMS計測に必要な計測計画が不要なため、計測から解析までの工数コストの削減効果が期待できる。

一方、本試行業務で検証した変状の自動抽出の有効性について、引き続き円山川や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。

今後はCalSokによる計測データの容量が非常に大きいことから、現地で迅速にデータ処理と解析結果を可視化するシステム、及びCalSokの解析結果による目視点検業務の効率性向上を図るためのARツール(図22)の導入についても検討中である。計測から解析、データ運用までを含めて全体的に最適化を図ることにより、河川堤防の維持管理の高度化・効率化に貢献する所存である。

また、刈草ロールの配布については、ロール化した刈草の全てが一般農家に配布されているため、さらなるコスト削減のためには運搬費の削減が重要となる。そこで、今後はこちらからの配布だけではなく、希望者から刈草ロールを取りにきてもらえるような仕組み作りを行う。

低草丈草種への植生転換に関して、イワダレソウを除く3草種については概ね問題無く生育が確認されており、寒冷地であっても生育に支障が無いことが分かった。中でも、年間を通して特に草丈が低いTM 9については、今後植生転換を実施するに当たって有用な草種であるといえる。円山川では依然として植生転換を実施した延長が短いため、今後は積極的に植生転換に取り組み将来の維持管理コストの削減を目指す。



図22. ARツール