

河川堤防におけるロボット除草機の取組と今後の展望について

岡野 健大¹・川畑 陽一²

¹近畿地方整備局 福井河川国道事務所 河川管理課 (〒918-8015 福井県福井市花堂南2-14-7)

²近畿地方整備局 足羽川ダム工事事務所 (〒918-8239 福井県福井市成和1丁目2111) .

福井河川国道事務所では、河川巡視や堤防点検のための環境整備や堤防の保全を目的として、堤防除草を行っている。堤防除草には、多くのコストや人手が必要となるため、省コスト化・省人化が求められており、その対応策として2020年からロボット除草機の試行が行われている。

本稿では、5年間のロボット除草機の試行を踏まえた堤防植生の管理状況や不具合の発生状況を整理し、また効率的なロボット除草機の運用方法の検討結果についてとりまとめた。そして、これらを踏まえた堤防除草におけるロボット除草機の適用性について論じた。

キーワード 新技術, 堤防除草, 維持管理, コスト縮減

1. はじめに

洪水を安全に流下させるためには、堤防の状態を適切に把握し、所定の機能を維持できるよう、変状を早期に発見して必要な対策を早期に講じることが重要である。

国土交通省では、河川砂防技術基準 維持管理編（河川編）に基づき、出水期前、台風期前、出水及び地震後に堤防の点検を実施しており、福井河川国道事務所管内においても、九頭竜川水系及び北川水系において堤防の点検及び評価を行っている。

堤防の点検は、一般的に目視により行うため、変状の把握を容易にするためには堤防の除草を定期的に行い、堤防法面の視認性を確保する必要がある。福井河川国道事務所管内では、出水期前後に各1回ずつ堤防の除草を実施しているが、この除草にかかる費用は事務所の維持修繕費の大部分を占めており、労務単価の上昇や少子高齢化等に伴う除草作業の担い手不足等により今後も増大が見込まれることから、除草方法の省コスト化・省人化が求められる。

福井河川国道事務所では、堤防の除草にかかる費用の縮減に向けた取組の一環として、九頭竜川及び日野川の一部において2020年からロボット除草機を試験的に導入している。今吉(2021)は²⁾、2020年に九頭竜川及び日野川で実施したロボット除草機の試行結果を踏まえ、ロボット除草機による芝丈の保持状況や不具合の発生状況及びその種別について報告している。また、従来の除草方法と比較したロボット除草機のコスト的な優位性について検討している。しかし、芝丈の保持状況などは、単年の

結果を踏まえた報告であるため、中長期的な運用による知見は不足している。また、コスト的な優位性に関しても、ロボット除草機がハンドガイド式や遠隔操縦式よりコスト的に劣位であり、ロボット除草機の効率的な運用方法を検討する必要がある。

九頭竜川及び日野川において、ロボット除草機の試行は試行開始した2020年から現在まで試行を続けている。本稿では、2021年から2024年のロボット除草機の試行を踏まえた芝の生育状況（芝丈や根系強度）や不具合の発生状況に関する知見の収集、除草コスト改善に向けた効率的なロボット除草機の運用方法の検討結果を整理した。また、これまでの試行結果等を踏まえ、ロボット除草機の堤防除草への適用について今後の展望を論じた。

2. 試行方法

(1) ロボット除草機の概要

ロボット除草機は、境界ワイヤーで規定したエリアを



図-1 ロボット除草機の外観

自律走行して除草を行うロボットである(図-1)。除草に際して従来の除草方法のように人が作業または操作をする必要がないため、天候や時間帯にかかわらず効率的に除草が可能である。

福井河川国道事務所管内では、ハスクバーナ社製のAUTOMOWER 435X AWDを試験的に導入している³⁾。

(2) 試行地点

九頭竜川は、福井県と岐阜県の県境の油坂峠に発し、その流域は九頭竜川流域、日野川流域及び足羽川流域に区分される(図-2)。

ロボット除草機の試行は、2020年と同様に九頭竜川の山岸地区(左岸4.6k~5.2k)及び江上地区(左岸10.6k~10.8k, 11.0k~11.4k)、日野川の下市地区(左岸4.0k~4.4k, 4.4k~4.8k)の5地点で実施した(図-3)。ただし、後述するポータブルバッテリー及びポータブル太陽光パネルの試行は、堤防天端に充電機器の設置箇所が確保できる日野川の西下野地区(右岸6.4k~6.6k)で行った(図-3)。

各地区におけるロボット除草機の試行面積についても、2020年と同様に試験導入しているロボット除草機の1日の除草可能面積を踏まえ約3,500㎡とした。なお、除草可能面積はロボット除草機の作業範囲を規定するガイドワイヤーの性能に準ずるものである。

(3) 試行期間

ロボット除草機は2021年から2024年にかけて試行した。各年のロボット除草機の試行期間は、ロボット除草機による除草の効果を把握しやすくするため、芝の生長期である4月から11月までとした⁴⁾。

(4) 環境整備

ロボット除草機は、内臓バッテリー(リチウムイオンバッテリー)により稼働するため、定期的に充電を行う必要がある。そのため、作業範囲周辺に充電用のためのチャージステーションと電源装置(商用電源、太陽光発電装置)の設置が必要となる(図-4)。また、ロボット除草機の作業範囲は、ガイドワイヤーにより規定されるため、その敷設が事前に必要となる。

ロボット除草機の試行地点は、西下野地区を除き今吉(2021)は²⁾と同様であることから、チャージステーション、電源装置及びガイドワイヤーは、既設のものを使用することができる。そのため、新たにポータブルバッテリー及びポータブル太陽光パネルの試行を行う西下野地区にガイドワイヤーを新たに敷設した。

(5) 試行内容

a) 芝の生育状況の確認

ロボット除草機により、堤防法面の植生高が堤防点検に際して変状を把握しやすい高さに保たれているか把握



図-2 九頭竜川流域図

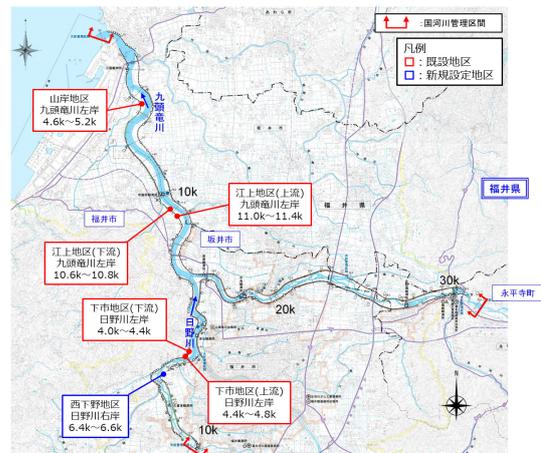


図-3 ロボット除草機の試行箇所

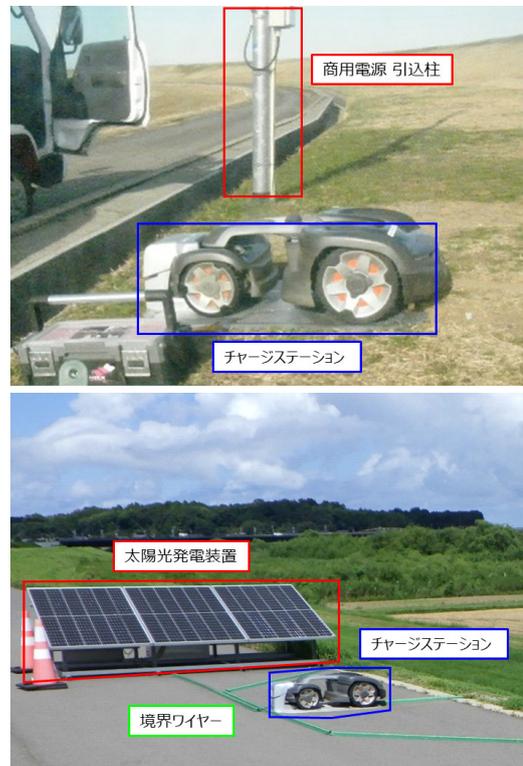


図-4 ロボット除草機の充電装置(上段:商用電源, 下段:太陽光発電装置)

するため、目視により芝丈の高さを確認した。また、芝が堤防植生として耐侵食性を十分に発揮しているか確認するため、ベーン式根系強度計により、各地点において芝の根系強度を測定した。このとき、根系強度は1箇所あたり10回計測し、最大値と最小値を除いた8回の計測値の平均をとった。

b) 不具合の発生状況の確認

ロボット除草機の導入または運用時に課題となり得る事項を把握するため、2021年から2024年までに発生した不具合の発生数及びその種別を整理した。結果の整理に際しては、参考として2020年に確認された不具合の発生状況とその種別も示す。なお、不具合の種別は、今吉(2021)⁹⁾で用いられていた「ガイドワイヤー」「巻き込み」「段差」「いたずら」「その他」に加えて、今回の試行で多くみられた「エラー・誤作動」の6種類とした。

c) 除草コスト改善に向けたロボット除草機の効率的な運用方法の検討

今吉(2021)⁹⁾において、ロボット除草機が遠隔操縦式等の従来法よりコスト的に劣った要因としては、単位面積あたりの除草機器の導入に必要となる初期費用（以下、「イニシャルコスト」という）が、他の除草方法と比較してロボット除草機が高いことが挙げられる。そこで、1地点あたりで負担するイニシャルコストの低減を目的とし、ロボット除草機1台を複数地点でローテーションして運用可能か検討した。このとき、一定期間（5日間）のロボット除草機の稼働を停止し、その間に伸びた草体を刈るのにかかる日数を計測することで、ロボット除草機1台の適用可能地点数を算定した。なお、本試行は、別地点の除草中に伸びた草体を適切に刈り取ることが可能か確認するため、芝の生育が顕著である6月～7月（2021年）にかけて実施した⁴⁾。

ロボット除草機1台を複数地点でローテーションする場合、地点によっては商用電源や太陽光発電装置が使用できないことが考えられる。そこで、持ち運びが可能な電源として、ポータブルバッテリー及びポータブル太陽光パネルがロボット除草機の充電装置として適用可能であるか検討した。今回の試行に用いたロボット除草機は、これまでの試行での実績値より1週間あたり3.5~4.9kWhの電力を消費することが確認できている。そこで、ポータブルバッテリーを週に1度交換することを前提として、バッテリーは1.5kWh蓄電が可能なもの、太陽光パネルは1.0kWh発電が可能なものをそれぞれ2つずつ用意した（図-5）。なお、本試行は、通常の試行の妨げとならないよう、芝の生育が緩やかな4月（2022年）に実施した⁴⁾。

1地点あたりで負担するイニシャルコストの低減によるロボット除草機の除草コスト改善を踏まえ、肩掛け式、ハンドガイド式、遠隔操縦式及びロボット除草機の除草コストの比較を行った。このとき、肩掛け式、ハンドガイド式及び遠隔操縦式の除草単価には2024年の実績値を用いた。なお、除草単価の実績値は、九頭竜川下流、九

頭竜川上流及び日野川の実績値の平均値を用いた。ロボット除草機のイニシャルコスト及びラインニングコストには、2022年時点の各種費用を用いた。なお、ロボット除草機の除草コスト算定にあたっては、リースまたは購入して4年使用することを想定した。



図-5 西下野地区に設置したポータブルバッテリーとポータブル太陽光パネルの様子

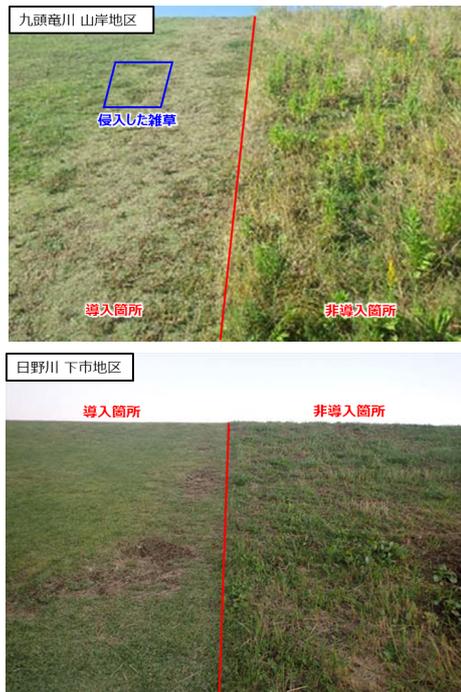


図-6 ロボット除草機の試行地点の様子

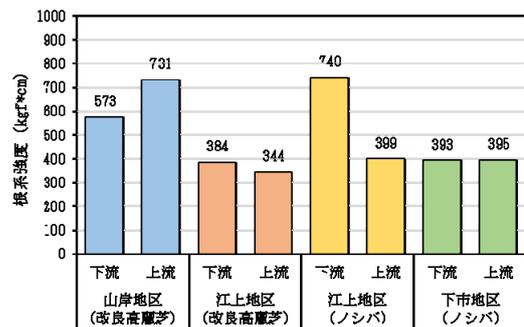


図-7 各地点における堤防植生の根系強度

表-1 試行期間に発生した現地対応を要するロボット除草機の不具合とその種別

種別	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	全体	年平均
巻き込み	18	24	21	53	5	121	24.2
段差	19	2	5	17	5	48	9.6
ガイドワイヤー	16	4	11	14	1	46	9.2
いたずら	3	2	2	2	0	9	1.8
エラー・誤作動	3	40	22	19	20	104	20.8
その他	22	14	36	8	8	88	17.6
計	81	86	97	113	39	416	83.2

3. 結果と考察

(1) 芝の生育状況の確認

図-6に、ロボット除草機の導入地点及び非導入地点の堤防植生の比較写真を示す。いずれの地点においても、ロボット除草機の導入箇所では、芝丈が10cm以下に保持されており、堤防点検において法面の変状の把握が容易な状況が確保できていると考えられる。また、導入箇所には雑草の侵入も確認されているものの、これらの草丈に関しても、芝と同様にロボット除草機による刈りこみにより低い状態が維持されていることを確認した。

図-7に、ロボット除草機の試行地点における芝の根系強度の計測結果を示す。一般的な芝の根系強度は400-600kgf/cmとされているが⁵⁾、おおよそすべての地点において、芝の根系強度は目安となる強度と同程度またはそれ以上の根系強度を示した(図-7)。江上地区の上流側では改良高麗芝の根系強度が344kgf/cmと低い値を示したが(図-7)、芝と同様に堤防植生として用いられるチガヤと同程度の根系強度を示していることから、植生による耐侵食性の確保では問題ないと考えられる(一般的なチガヤの根系強度は250-400kgf/cm⁵⁾)。

(2) 不具合の発生状況の確認

表-1に試行期間に発生した現地対応を要するロボット除草機の不具合とその種別を、図-8及び図-9に不具合の種別または地区別の不具合の発生割合を示す。

2020年から2024年までの5年間における現地対応を要したロボット除草機の不具合の発生件数は全体で416件であった(平均83.2件/年)。そのうち、最も発生件数が多かった不具合の種別は「巻き込み」の121件であり、次いで「エラー・誤作動」の104件、「段差」の48件、「ガイドワイヤー」の46件であった。また、各年における不具合の発生件数を比較すると、2024年に不具合の発生件数が顕著に減少したことが示された。地区別の不具合の発生件数に関しては、それぞれの地点で80件前後であり試行地点によって顕著な違いはみられなかった。

a) 「巻き込み」による不具合

「巻き込み」で最も見られた事例としては、法尻付近で作業範囲外の雑草を巻き込んだことによる非常停止が挙げられる(計61件)。高水敷は、年2回の堤防除草を除いて除草は行われないため、草丈が高くなった植物が

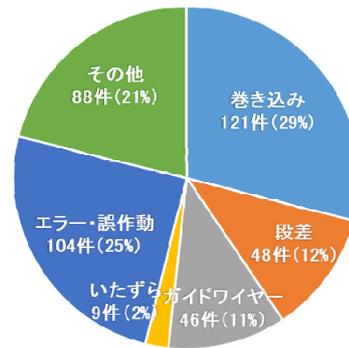


図-8 種別ごとの不具合の発生割合 (2020~2024年)

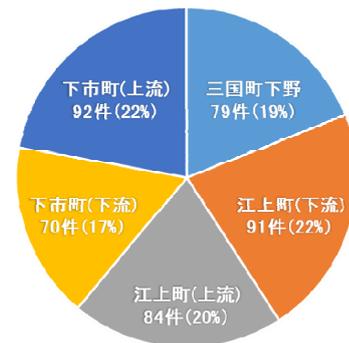


図-9 地区ごとの不具合の発生割合 (2020~2024年)

堤防側に倒れ、その草体をロボット除草機が刈りとりを試みることで「巻き込み」による不具合が発生していると考えられる。そのため、ガイドワイヤーを敷設するにあたっては、法尻より少し高い位置に設置することで「巻き込み」による不具合を低減できる可能性がある。また、法尻の雑草の巻き込みと同時に作業範囲外に機体が出る事例も確認されていることから、ロボット除草機の運用にあたっては注意が必要である。

b) 「段差」による不具合

「段差」で最も見られた事例としては、法面上の凹凸に衝突またははまることで移動ができなくなったことが挙げられる(計41件)。ロボット除草機を導入する際は、事前に予定作業範囲内に凹凸やロボット除草機の運行を妨げる障害物等がないか確認することで不具合の発生を低減することが可能であると考えられる。また、うち5件はイノシシやモグラなどの動物が掘った穴による不具合であることから、導入予定箇所付近で野生動物による変状

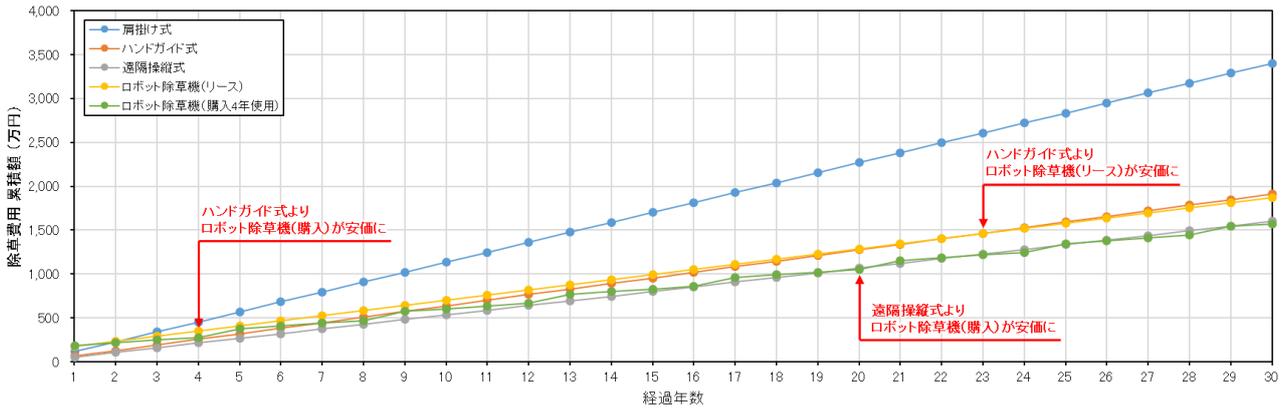


図-10 従来法とロボット除草機の除草コスト比較 (2地点ローテーションの場合)

がないか事前に確認が必要となる。

c) 「ガイドワイヤー」による不具合

「ガイドワイヤー」で最も見られた事例としては、ガイドワイヤーの断線が挙げられる(計26件)。そのうち、野生動物と劣化によるものがそれぞれ11件、測点の竹串の打ち込みなど堤防上での作業に起因するものが4件であった。これらは物理的なワイヤーを用いて作業範囲を規定することで発生した不具合である。しかし、福井河川国道事務所にて新たに試行を予定する新型のロボット除草機(AUTOMOWER 435X AWD NERA)では、GPSによりアプリケーション上で除草範囲を仮想的に設定可能であり、このような機能を持つロボット除草機は導入によりイニシャルコストが既存のものより高くなるものの、断線に起因する不具合を低減できる可能性がある。

その他に、ロボット除草機がガイドワイヤーを発見できず、チャージステーションに帰還できない不具合も確認された(計8件)。ロボット除草機はガイドワイヤーに沿ってチャージステーションに帰還するが、その探索時間を短く設定してしまうと、ロボット除草機がガイドワイヤーを発見できなくなる。今回の試行地点では、ガイドワイヤーの探索時間を30分に設定すると、ロボット除草機がガイドワイヤーを発見できない不具合はみられなかった。しかし、この時間は作業範囲の広さや形状により変化することが考えられることから、導入した後に適切な時間を設定する必要があると考える。

d) 「いたずら」による不具合

「いたずら」では、ロボット除草機の持ち上げが発生した不具合の全体を占めた。そのうち、下市地区での「いたずら」の発生が9件中8件を占めていた。下市地区の試行地点周辺は、山岸地区及び江上地区と同様に平常時から人通りの多い場所ではないが、他2地区と異なり試行箇所が川裏側であったことから、他の地点に比べて人目に付きやすかった可能性がある。本試行より、人目の少ない場所でもいたずらが発生し得ることが明らかとなったため、ロボット除草機の導入にあたっては、いたずらの発生の抑止を目的とした立て看板による警告等の対応を行う必要がある。

(3) 除草コスト改善に向けたロボット除草機の効率的な運用方法の検討

a) 複数地点に対するロボット除草機の適用検討

ロボット除草機の稼働を5日間停止し、その期間中に伸びた芝や雑草が停止前の草丈に戻るまで約6-7日ほど時間を要した。植物の生長を考慮したとき、1週間程度を目安としてロボット除草機をローテーションして運用することで、ロボット除草機1台は2地点(約7,000m²)に適用が可能と考えられる。これにより、1地点あたりで負担するイニシャルコストは、1地点にロボット除草機1台を導入したときと比較して半分となることから、除草コストの低減につながる。また、ロボット除草機の性能向上により、草体の刈り取り速度が改善されれば、ロボット除草機を2地点以上に適用が可能となり、よりコスト縮減に期待できる。

b) ポータブル充電機器の活用性検討

ポータブルバッテリー及びポータブル太陽光パネルによりロボット除草機が運用可能であるか試行したところ、ロボット除草機の消費電力は当初の想定より多く、1日あたり4.0kWhの電力を消費することが判明した。対して、ポータブル太陽光パネルの発電量は晴天時で1日あたり約1.3kWhであり、ポータブルバッテリーの蓄電量を勘案すると、ロボット除草機を運用するためにはポータブルバッテリーを最低でも1日1回交換する必要があることが明らかとなった。また、バッテリー交換によるランニングコストも増大したことから、ポータブル充電機器によるロボット除草機の運用は現時点では困難であると考えられる。

c) ロボット除草機の2地点ローテーション化を踏まえた従来法との除草コストの比較

図-10に、ロボット除草機を2地点でローテーションで運用したときの肩掛け式、ハンドガイド式、遠隔操縦式及びロボット除草機の除草コストの比較結果を示す。

ロボット除草機をリースすることを想定したとき、ロボット除草機の除草コストは、23年目でハンドガイド式より安価となることが示された。また、ロボット除草機を購入し、4年ごとに故障によりロボット除草機を買い

替えることを想定したとき、7年目でハンドガイド式、20年目で遠隔操縦式より除草コストが安価となることが示された。現時点では、ロボット除草機の除草コストが従来法より経済的となるには時間がかかるが、ロボット除草機の性能向上等により除草適用面積が広くなれば、単位面積あたりの除草コストは減少するため、より早い段階でロボット除草機の方がコスト的に優位になることが考えられる。また、近年の傾向として直近10年で労務単価が約1.5倍に上昇するなど⁹⁾、人件費の高騰が著しいことから、将来的に労務単価の上昇に伴う従来法の除草単価の上昇により、ロボット除草機の方が除草コストが安価となることも十分に考えられる。

4. 結論

本稿では、ロボット除草機の導入を検討する上で参考となる芝の生育状況や不具合の発生状況等を整理した。また、除草コストの改善に向けて運用方法の検討を行い、それを踏まえて従来法とコスト比較を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 芝等の堤防植生は、草丈10cm以下に保たれており、堤防点検を行う際に目視の妨げとならない状態を維持できることが明らかとなった。
- 堤防法面の芝の根系強度は、おおよそ400kgf*cmと同等かそれ以上を示しており、芝による堤防法面の保護の観点から問題ない生育状況であることが示唆された。
- 今回の試行では、1地点あたり5年間で計83.2件の不具合が発生したことが明らかとなった。しかし、ロボット除草機の導入時に不具合が発生しにくい地点選定または環境整備を行うことで、不具合の発生を低減できる可能性が示唆された。
- 1地点あたりの除草に要する日数は、今回の試行地点では1週間程度であることが示された。これにより、ロボット除草機1台を2地点に適用可能であるため、コスト的に効率的な運用が可能となる。なお、ロボット除草機の性能向上により、さらに効率的な運用に期待できる。
- ポータブルバッテリーとポータブル太陽光パネルを電源として用いるとき、今回の試行条件では、1日1回以上のバッテリー交換が必要であることが示された。イニシャルコストやバッテリー交換のランニングコストを考慮したとき、コスト面ではポータブル機器の導入による電源の確保は困難であることが示唆された。

- ロボット除草機を購入し、4年ごとの買い替えを想定したとき、20年目にはじめて遠隔操縦式よりロボット除草機の除草コストが安価となることが示された。ただし、この期間は、将来的な機器の性能向上による除草適用面積の拡大や労務単価の上昇に伴う従来法の除草単価の高騰により、短くなることに期待できる。

5. 今後の展望

ロボット除草機は、現時点では不具合が多く発生しておりコスト面でも従来法より優れた手法とは言えない。しかし、今回の試行で確認された不具合のうち、多くは導入時の地点整備や環境整備を入念に行うことで回避が可能と考える。除草コストに関しても、機器の性能向上により除草適用面積が広くなれば、除草コストの低減に期待できる。

ロボット除草機の強みは、定期点検を除いて除草時に人の手が必要ないことである。現在の日本では、深刻な少子高齢化が進展しており、将来的には現在と比較して働き手が不足することは自明である。そのため、省人化を目指してロボット除草機の試行を続け、導入が可能となるようにすることが、今後より重要になると考える。

謝辞：最後に、本稿の執筆にあたってロボット除草機による効果検証に御協力いただいた皆様に謝意を表す。

6. 参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局：河川砂防技術基準 維持管理編（河川編），pp.38-44，2024。
- 2) 今吉 紘頌：ロボット除草機による堤防除草の効率化について，近畿地方整備局 研究発表会，イノベーション部門 I，No.15，2021。
- 3) 国土交通省 近畿地方整備局：現場ニーズと技術シーズのマッチング(第1回マッチング)，https://www.kkr.mlit.go.jp/plan/i-construction/019a8v000001jzvu-att/bessi-2_Automower.pdf (2025年7月14日閲覧)
- 4) 島田 直仁：コウライシバの年間生育サイクル，芝草研究，48(1)，pp.32-39，2019。
- 5) 宝藤 勝彦，塩見 真矢，石原 宏二，河崎 和明：堤防植生の機能保持に向けた低草丈草種等の導入について，河川総合研究所報告，第21号，pp.22，2016。
- 6) 国土交通省 不動産・建設経済局：令和7年3月から適用する公共工事労務単価について（資料2），2025年2月14日発表。