

ロボット除草機による堤防除草の効率化について

今吉 紘頌¹

¹近畿地方整備局 淀川河川事務所 調査課 (〒573-1191大阪府枚方市新町2-2-10)

現在福井河川国道事務所では河川巡視や堤防点検などによる河川の状態把握のための環境整備及び堤体の保全を目的に、堤防の除草を行っている。堤防除草については機械化等が進められているが、費用の削減をはじめとした更なる効率化が求められている。

そこで本稿では、費用削減や省力化といった堤防除草作業の効率化の試みとして、自律走行型のロボット除草機を九頭竜川水系の既設堤防や堤防拡築事業区間に試験導入し、費用削減効果等の観点から堤防除草作業への適用の可能性について中間報告としてとりまとめた。

キーワード 新技術, 維持管理, コスト削減

1. 序論

国土交通省では、国土交通省河川砂防技術基準維持管理編（河川編）に基づき、堤防等の河川管理施設を定期的に、あるいは出水や地震等の大きな外力の作用後に点検し、機能状態を評価して必要な対策を実施しており¹、福井河川国道事務所においても、九頭竜川水系及び北川水系において、河川管理施設の点検、評価を行っている。河川管理施設の中でも堤防の点検を適切に行うためには、環境整備として堤防の除草を行う必要があり²、福井河川国道事務所においては、維持修繕費の大部分を堤防除草が占めている。維持修繕費は、今後も労務単価の上昇³や、増税、施設の老朽化等により増大が見込まれるため、その大部分を占める堤防除草の効率化や、戦略的なコスト削減の推進は非常に重要である。

2016年度、河川維持管理計画の見直しに伴い、近畿地方整備局管内では堤防除草のコスト削減WGが開催され、短期的なコスト削減対策として、「遠隔草刈機による除草」、「堆肥化」、「ロール化」、「刈放し」、「野焼き」、「動物除草」等の導入、また、中・長期的なコスト削減対策として「低草丈草種による植生転換」の試行が位置づけられた⁴。福井河川国道事務所においても、上記のコスト削減対策を行っており、ロール化では約8%のコスト削減を実現した⁵。一方で、先述のとおり今後も除草コストの増大が予測されるため、更なるコスト削減対策が必要である。

ロボット除草機による除草（以下“ロボット除草”）は既に新技術として高速道路⁶やサッカーコートなどで導入されているものの、堤防においては導入されていなかった。そこで、福井河川国道事務所は全国初の取り組みとして、九頭竜川水系の堤防において、ロボット除草を

行った。本稿では、ロボット除草と従来人が機械を操作して行ってきた除草（以下“人力除草”）について治水性、経済性、安全性の観点から比較・整理を行った。

2. 試行概要と試行方法

2-1. ロボット除草機の概要

ロボット除草機（図1）は、遠隔操縦式とは異なり、GPSを活用した無人自律走行を基本としており、事前に設定した作業範囲を全自動で駆動し、除草を行うものである。天候や時間にかかわらず作業可能であるため、除草作業を効率的に実施することが出来る。

2-2. 試行地点及び試行範囲

九頭竜川は、その源を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、日野川、足羽川の三川に大きく区分される。福井河川国道事務所では、九頭竜川の河口から福井県吉田郡永平寺町までの31.2kmとその支川日野川の九頭竜川合流点から福井県福井市下江守町ま



図1 ロボット除草機

での11.0kmを管理している(図2)。

本試行では図3に示す3地点においてロボット除草機を設置した。各地点の特徴及び除草の目的については以下のとおりである。

①②: 新設堤防であり、堤防養生工として稼働する。

③: 既設堤防であり、堤防除草工として稼働する。

また、ロボット除草機1台で1日に作業可能な範囲は約3,500㎡のため、試行面積も各地点約3,500㎡とした。地点①は1台、地点②及び③は上流側と下流側に1台ずつ設置した。

2-3. 試行期間

芝の休眠期は芝の生長が遅くなり、作業効率が悪く検証材料として有意でないと考えられたため、2020年4月1日～2020年11月30日を試行期間とし、期間中は24時間連続稼働とした。なお、大きな出水が予想される際には、故障等の不具合を防ぐため、事前に回収し出水後再度設置することで対応した。

2-4. 環境整備

ロボット除草機は本体に内蔵しているバッテリー(リチウムイオンバッテリー)をチャージステーションにて定期的に充電して作業を行うため、作業範囲近辺にチャージステーションを用意する必要がある。電源は商用を基本とし、商用が用意できない地点については太陽光発電(図4)で対応した。さらにロボット除草機はガイドワイヤーで囲まれた範囲内をランダムに移動し除草を行うため、その敷設についても事前に実施した。

また、ロボット除草機は草丈が10cmを超える箇所での使用が難しいため、草丈が10cmを超えていた地点③では、適切な草丈になるよう、事前に除草を行った。

2-5. その他

一般的に堤防除草は除草、刈草の集草、刈草の運搬及び処分を1セットとして行うが、ロボット除草機は24時間連続稼働により、非常に高頻度で除草を行うことが可能であるため、長大な刈草が発生しないといった特徴がある。そのため刈草については集草や運搬、処分は行わず刈放しとした。

3. 結果及び考察

3-1. 治水性について

堤防は降雨等により損傷が発生する可能性があるが、それを防ぐためには、植生の維持が必要である。堤防の植生は図5に示す5タイプに分類されている。その中に

おいてシバタイプは耐侵食性が高く、草丈が低いため、堤防植生として望ましいとされている。一方でイネ科を



図2 九頭竜川流域図

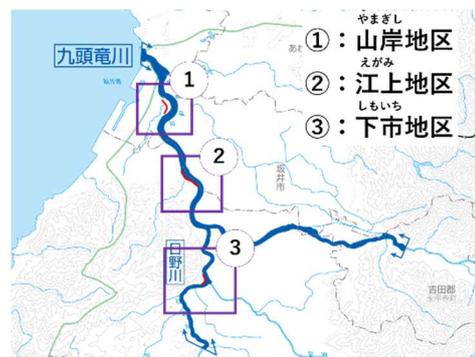


図3 ロボット除草機設置箇所

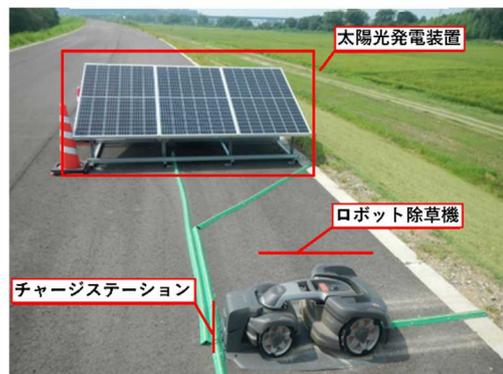


図4 チャージステーションと太陽光発電装置

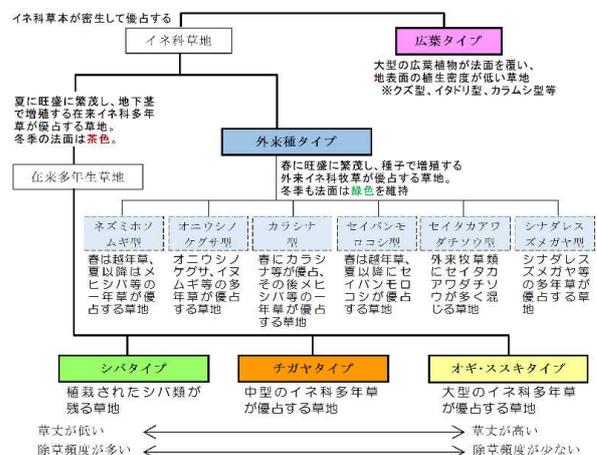


図5 堤防植生タイプの区分

はじめとする外来種タイプは耐侵食性が低く、草丈も高いことから堤防植生として望ましくないとされている⁷⁾。

本試行地点の植生は全てシバタイプが主であるため、本節ではシバタイプ以外の植生の侵入状況を治水性を評価する指標とした。さらに堤防点検の観点から、堤防で発生している異常の発見のしやすさについても治水性を評価する指標とした。

各地点の除草効果と除草状況を表1及び図6に示した。草丈については、概ね均一に刈られていた。

堤防の異常については、ロボット除草機では常に草丈が低い状態を維持できることから全地点で問題なく確認することができた。

芝の生育については、地点①及び③下流においてムラや裸地化が確認された。これはランダム除草により特定の箇所が重点的に刈り取られたためと考えられる。

別種の侵入については、地点③以外においてイネ科の植物の侵入が見られ、地際を這う形状で開花・結実状況が確認された。これはロボット除草機の刈刃の位置では、地際近くを這う植物を刈り取ることができないためだと考えられる。また、侵入したイネ科植物の下部においてシバ枯れが確認されており、別種の侵入・繁茂による芝の生育への影響が見られた。

以上の結果から、ロボット除草機の活用によって堤防の異常については確認が容易となったものの、必要以上に同一箇所を除草しないように、同一地点の除草時間を減らす等の工夫が必要である。またロボット除草機ではシバ以外の侵入を完全に防ぐことはできないため、伐根除草や別途機械による除草が必要である。

3-2. 経済性について

本節では、堤防養生及び堤防除草について、ロボット除草機を導入することによる総費用と、従来の人力除草による総費用の比較を経済性の項目として評価した。ロボット除草と人力除草について1000㎡あたりにかかるコストを比較した結果を図7に示した。ロボット除草機については、その電源が商用と太陽光発電の2種類としているため、各々の結果を記載した（以下“商用”及び“太陽光”）。なお従来の堤防養生費用は渡良瀬川の実績を基に算出しており、堤防除草費用は九頭竜川の実績から算出している。労務単価は2020年度のものに統一した。

堤防養生は3年間実施するため、3年間でかかる総費用を比較した。その結果商用による堤防養生が、人力による堤防養生と比較し、安価であることが分かった。その要因として、ロボット除草機は導入に必要となる初期費用（以下“イニシャルコスト”）がかかるものの、年間の維持費（以下“ランニングコスト”）は人力と比較し安価であるため、総費用としては商用の方が、人力よりも経済性で優位となったと考えられた。なお太陽光につ

いては、発電装置が高価であったため、人力と比較し経済性で劣位となった。

次に堤防除草については、Ⅰ：肩掛け式、Ⅱ：ハンドガイド式、Ⅲ：遠隔操縦式との比較を行った。その結果Ⅰとの比較では商用は6年目、太陽光は10年目で安価に転じることが判明した。しかしⅡ、Ⅲとの費用が逆転す

表1 ロボット除草機による除草効果

地点 項目	①	②	③下流	③上流
草丈	均一	均一	均一	均一
堤防の異常	確認できる	確認できる	確認できる	確認できる
芝の生育	ムラがある	良好	一部裸地化	良好
別種の侵入	多く見られる	散見される	散見される	見られない



図6 除草状況

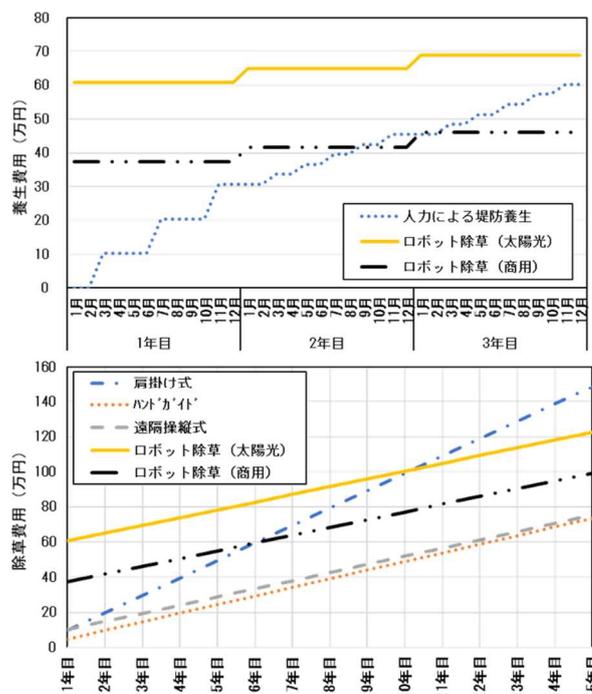


図7 1000㎡あたりのコスト比較
(上：堤防養生 下：堤防除草)

るのは70年以上かかることが判明した。これはロボット除草機のイニシャルコストが高価で、ランニングコストにはほとんど差がないことから、経済性で劣位となったと考えられた。なおⅢについても1台あたりのイニシャルコストは高額であるが、1台の遠隔操縦式の作業実施範囲が約120万㎡であるため⁸⁾、単位面積あたりではロボット除草機と比較し非常に安価となっている。また、図8に示すように、福井河川国道事務所管内での堤防除草はⅡとⅢが全体の75%以上を占めている⁹⁾。したがって、経済性の観点からは従来の人力除草に優位性があると考えられる。

以上の結果を踏まえると、ロボット除草が人力除草と比較し経済的に劣位であった。理由は以下の2つであると考えられる。

- (1) ロボット除草機の運用範囲が狭い(約3,500㎡)
- (2) イニシャルコストが高価

(2)については、本体料金に加え、チャージステーションやガイドワイヤーの敷設費用も含まれている。

そこでロボット除草機の経済的な活用方法として以下の2つを提案する。

- 〈1〉複数の作業エリアを設けて、定期的にローテーションさせることで、単位面積あたりのコストを削減する
- 〈2〉給電方式を充電式からバッテリー交換式にすることで、イニシャルコストを削減する

〈1〉について、ロボット除草機は約3,500㎡を作業範囲として設定しているが、3-1でも確認できるように堤防点検において芝の1-2cm程度の生長であれば大きな影響はないと考えられる。そこで最低限の草丈を維持できる頻度で除草ができるよう、複数エリアをローテーションさせる方法である。なお、配置換えを行う際に必要な人員は巡視業務でまかなうことを想定しているため、これに関する費用は計上していない。〈2〉について、ロボット除草機はチャージステーションにおいて、商用電源や太陽光発電による充電を基本としているが、〈1〉のローテーション方式にあわせて、配置換えを行う際に別途充電していたバッテリーに交換することで、チャージステーションの設置費用を削減する方法である。これら二つの方法を実施した場合のコスト比較を図9に示す。なおローテーションは1台当たり月10箇所とし計35,000㎡/月、バッテリーは毎日交換を主とし、24時間分(1000Wh)の蓄電が可能なものとした。この結果、堤防養生及び堤防除草どちらもロボット除草機が経済的に優位である結果となった。なお、バッテリー交換にかかる人工や、傾斜のある堤防において大容量バッテリーを搭載時の稼働状況については今後確認する必要がある。

3-3. 安全性について

本節では、ロボット除草機の導入において発生した不

具合を整理し、導入にあたっての条件や安全性等について評価した。ロボット除草機の導入によって発生した不具合を図10に示した。ガイドワイヤー関係、除草範囲周辺の草や土の巻き込み、段差に乗り上げるといった不具合が全体の8割以上を占める結果となった。また、全ての不具合発生時にロボット除草機は非常停止したため、

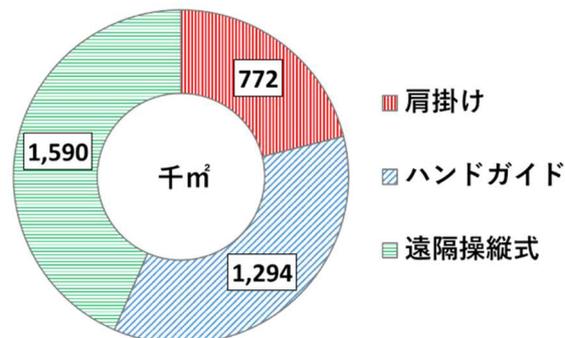


図8 除草手法割合

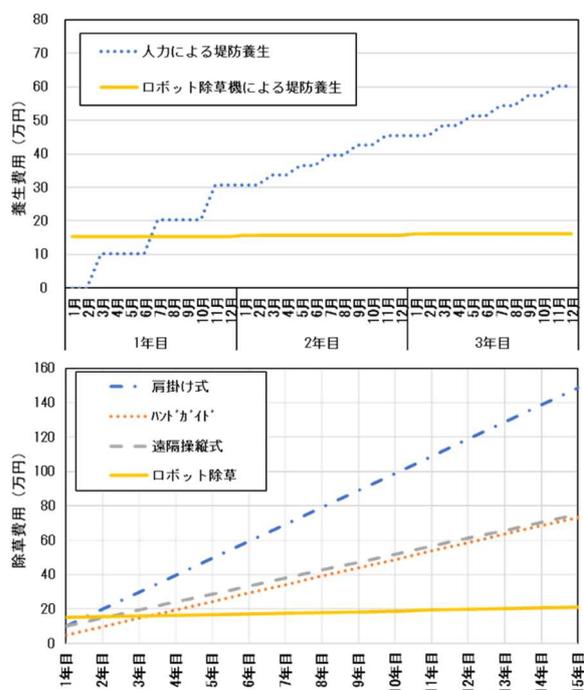


図9 1000㎡あたりのコスト比較(改善案)
(上: 堤防養生 下: 堤防除草)

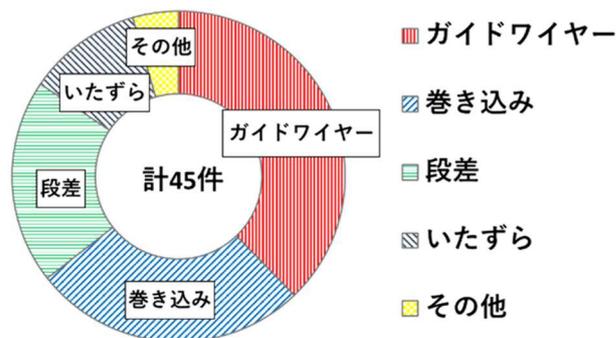


図10 不具合一覧

人身や器物への影響は確認されず、安全性については問題ないと考えられた。なおいたずらによる不具合が少なかった要因は対象地点周辺の人口が都市部と比較が少ないことが考えられる。

地点別での不具合発生回数を図11に示した。地点①・②での不具合発生回数が全体の75%程度を占めており、地点③では少なかった。これは地点③は他の2地点と比較し、周辺に草丈の短い草が多く、巻き込みによる不具合が一切なかったことが要因と考えられる。

これらの結果から、ロボット除草機の運用における不具合は除草範囲周辺の利用状況や植生によるところが大きく、ロボット除草機の導入にあたっては現場の状況を事前に調査し、検討する必要があると考えられる。

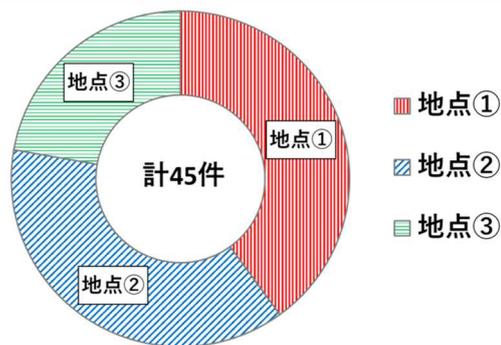


図11 地点別不具合一覧

を行い、経済性と治水性の観点から最適な除草頻度を検証する予定である。

4. 結論

堤防除草の効率化を目的に除草ロボットを導入し、従来の人力除草との比較を行った。その結果を以下に示す。

- 堤防の草丈を均一に保ち、堤防の異常の確認は容易となった。しかし必要以上に同一箇所を除草することでムラや裸地化が発生することがあるため、作業時間の設定等の工夫が必要である。
- ロボット除草機による堤防除草ではシバ以外の植生の侵入を完全に防ぐことはできず、人力での抜根除草が必要となる。
- 経済性の観点において商用と太陽光では、商用の方が優位である。
- 小規模な範囲への適用では、人力除草と比較し経済的ではないものの、大容量バッテリーの搭載や除草のローテーション化によってコストを削減できる可能性がある。
- ロボット除草機の運用にあたって対人への傷害は発生せず、安全性は確認された。
- ロボット除草機の導入にあたっては現場の状況を事前に調査し、検討する必要がある。

5. 今後の方針

現在も本試行は継続中であり、今後は同一箇所の除草頻度を低下させ、今回行ったロボット除草との結果比較

6. 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大勢の皆様へ謝意を表す。

7. 参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 (2019) : 堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領, pp.01.
- 2) 国土交通省 水管理・国土保全局 (2011) : 河川砂防技術基準維持管理編(河川編), pp.32.
- 3) 国土交通省 土地・建設産業局 建設市場整備課 (2019) : 新労務単価は公表以降最高に!, 記者発表資料.
- 4) 国土交通省 近畿地方整備局HP 河川維持管理計画, <https://www-1.kkr.mlit.go.jp/river/kanri/genrjyou.html> (2020/1/22閲覧) .
- 5) 国土交通省 近畿地方整備局 福井河川国道事務所 (2020) : 令和元年度九頭竜川河川管理レポート.
- 6) 公益社団法人土木学会 (2020) : 高速道路へのロボット芝刈機の導入, 土木学会誌 10月号, pp.38.
- 7) 佐々木寧ら (2000) : 堤防植生の特性と堤防植生管理計画, (財)河川環境総合研究所報告第6号.
- 8) 令和2年度福井河川国道事務所管内堤防維持作業実績