高電圧を用いた除草に関する基礎研究

箕田 充志^{a,*}

A Basic Study on Weeding Method by Using High Voltage

Atsushi Minoda^{a,*}

(Received September 14, 2020; revised October 27, 2020; accepted November 5, 2020)

Abstract

Weeds are a problem in most communities and regulations exist regarding their control. However re-growth means that areas may have to be weeded several times a year. The objective of this study was to reduce or eliminate weed re-growth by destroying the root system. It was demonstrated that application of high voltage was effective for root destruction and that selective application was possible.

キーワード : 高電圧, 除草, 部分放電

Keywords : High Voltage application, Weeds Removing, Partial discharge.

1. はじめに

雑草を放置しておくと、美観を損ねるだけでなく火災などの原因となる。市町村は条例等を定め、土地の管理者に除草を促すことや業者に作業を依頼している。少子高齢化の進む地方においては高齢化が進み、除草作業の負担軽減は重要な課題である。

草刈機を用いた作業では雑草の根が残るため、年に 3～4 回程度除草を行う必要がある。負担の低減と経費を削減するには、除草作業の回数を減らすことが有効と考えられる。除草作業の際、雑草の根を破壊することができれば、雑草が再度生えてこない可能性が高く、除草作業の回数を減らせると考えられる。

そこで産業に应用可能な高電圧を利用した除草法の検討を行った。これまでに、高電圧を用いた雑草除去に関する報告がなされている¹⁻³⁾が、植物の根の破壊⁴⁾に関する詳細な破壊メカニズムに対する検討は行われていない。また、除草装置について、いくつか機械的装置の特許も出願⁵⁾されているが、高電圧を利用した除草に関するメカニズムは考慮されていない。

本論文は、高電圧を用いた根の破壊による雑草除去の効果の検証と、適切な装置を作製するための基礎として、

高電圧を用いた除草メカニズムの解明を行ったので報告する。

2. 実験および検討

2.1 芝の破壊電圧の測定

植物の葉や茎に高電圧電極をつけ、地面にアース電極とり破壊される電位差を与えることで、根まで含まれる除草が可能と考えられる。植物の表面抵抗は高いため、高電圧を用いることで、茎や葉の表面を部分的に破壊し、雑草の内部まで電流を流すことを検討した。Fig. 1 のように 50mm 以上成長した芝を用い、芝の茎に高電圧電極を取付け、土壤にアース電極を設けた。

茎に交流高電圧(60Hz)または直流を 20kV まで印加し、芝の様子を観察すると同時に、芝が破壊される時の電圧を測定した。なお、火花を伴って電流が観測された場合を破壊とした。Fig. 2 に芝の破壊電圧を測定した結果を示す。交流の場合、10～20kV 程度の電圧を印加すれば、

Fig. 1. The circuit of the experiment.

* Corresponding author. E-mail: minoda@matsue-ct.jp

^a 松江工業高等専門学校

〒690-8518 松江市西生馬町 14-4

National Institute of Technology, Matsue College,
14-4, Nishi-ikuma Matsue, Shimane 690-8518, Japan

Fig. 2. AC breakdown voltage.

(a)Apply the voltage (b)Cutting with knife (c)Original

Fig. 3. The planter for the experiment.

多くの場合芝が破壊されることが確認できた。この時、破壊時に流れる電流は 0.2 mA 程度であった。

直流の場合、20kV までの電圧印加において破壊が促進されなかった。原因として、対象となる草の等価回路図に容量性成分を含んでいることが考えられる。

一方、芝に水をかけて表面抵抗を下げると、高電圧を印加しても表面にのみ電流が流れ芝は破壊されなかった。

2.2 高電圧印加による除草効果

高電圧を用いた場合の除草効果を評価した。実験は芝の生えたプランター(約 450mm×150mm)を 3 つ用意し、(a)高電圧を印加して破壊した場合、(b)芝をはさみで切った場合、(c)なにもしない場合の処理を施した。このプランターを 2 か月間、自然環境におき経過観察を行った。

Fig. 3 に結果を示す。電圧を印加した芝は放電による破壊後、芽が出ない状態にあった。このことから、高電圧を印加して放電できれば根まで含めた破壊が生じ、機械的に除去するより新たに雑草が成長しにくくなる可能性が確認できた。

加えて、高電圧印加により除草する場合は、ターゲットとする雑草の内部に電流を流すことが可能であり、任意の雑草のみ除草できる可能性がある。

そこで Fig. 4 のように、一様に芝の生えたプランター内を 50 mm×50 mm の領域に区切り、図中の斜線部のように高電圧を印加させた領域と、高電圧を印加しない領域を設定し、その後の成長を観察した。芝の育成は 11 月～

Fig. 4. The turf sample for the experiment.

Fig. 5. Turf sample of two months later.

Fig. 6. The state of the root of the turf.

1 月とした。

Fig. 5 に結果を示す。高電圧を印加し破壊した領域の芝は枯れて、芽が出ていない状態にある。電圧を印加していない領域の芝は、本実験開始後 2 ヶ月経過しても、枯れずに成長を続けた。

次に、実験に用いた試料をプランターから取出し、断面観察を観察した。Fig. 6 に結果を示す。図中の四角で囲んだ箇所に電圧を印加したが、電圧を印加した領域には、丸で囲んだ箇所のように、根が残っていないことが確認された。

2.3 高電圧印加時における根の破壊過程

2.1 および 2.2 節の結果から、高電圧を芝に印加し内部に電流を流すと、根が破壊されと考えられたため、次の実験を行った。試料は芝を高さ 150mm、横 125mm、奥行き 15mm のアクリル容器に入れ根が側面から観察できるまで育てたものを用いた。

その後、Fig. 7 のように、芝の茎に高電圧電極を取り付け、アクリル容器の底面にアース電極を設け芝に交流ラ

Fig. 7. The sample.

(a) Before applied voltage. (b) Destruction of the root.

Fig. 8. The discharge characteristic.

(a) Before applied voltage. (b) The applied voltage.

Fig. 9. Change of the temperature.

ランプ電圧 (A.C.60Hz) を印加し、そのときの根の様子を観察した。Fig. 8(a)に電圧印加時の様子を示す。高電圧を印加すれば、それに伴い、(b)局所的な放電が発生し、ランダムに根が破壊されていることが分かる。この時、放電に伴う発熱の状況をサーモグラフィにて測定した。Fig. 9 (a) (b) にサーモグラフィによって得られた電圧印加時の熱的变化を示す。

電圧印加前と比較して、試料の色温度が、放電の発生した箇所を中心として温度上昇に伴い局所的に変化していることがわかる。このことから、高電圧を印加すると、局所的に電流が流れダメージを与えていると考えられる。

2.4 部分放電特性

Fig. 8 から高電圧を印加すると部分放電も発生していると考えられる。そこで、Fig. 10 に示す実験系で部分放電測定を行った。CK は結合コンデンサ、DI-21 は高感度

Fig. 10. Partial discharge detect circuit.

Fig. 11. Partial discharge characteristic.

部分放電検出用インピーダンス、CD-6 は部分放電検出器 (日本計測器製造所) である。

試料に部分放電が起こると、部分放電が起こっている箇所の静電容量に比例したパルスを発信する。実験では CD-6 の出力信号をオシロスコープで観測した。Fig. 11 に正弦波電圧 (60Hz, 5kV) を印加し、放電が生じたときの電流波形を示す。印加電圧の左の 1 周期において、零点付近で部分放電による電流が大きくなっていることがわかる (図中 A)。

破壊が生じた次の周期においては、電界が最も高い場所で電流が大きくなっていることがわかる (図中 B)。

これは電圧印加時から左の周期まで部分放電が発生し、次の周期で絶縁破壊が生じたためである⁶⁾。

高電圧を印加すると部分放電が発生することがわかった。一方、部分放電は周波数および電圧波形に依存することが知られている。

そこで周波数を変化させた場合の破壊電圧を測定した。実験には育苗が容易である二十日大根を用いた。プランターに二十日大根を同一条件で育苗し、これらに 10Hz, 100Hz, 1000Hz のランプ電圧を各 30 回ずつ印加し、破壊するまでの電圧を測定した。

結果を Fig. 12 に示す。印加する電圧の周波数が高くなると破壊電圧が低下することがわかった。

同様に、印加する波形と破壊電圧の依存性を調査した。正弦波、方形波、三角波 (100Hz) を各 30 回ずつ印加し破壊するまでの電圧を測定した。比較のため、縦軸は波高値とした。結果を Fig. 13 に示す。

Fig. 12. Frequency characteristic of the breakdown voltage.

Fig. 13. Breakdown voltages by applying 3 waveforms.

Fig. 14. The sample.

高周波成分を多く含む方形波の破壊電圧が一番低い結果を得た。このことは、実機への応用過程でパルス波形の高電圧を利用することが有利ということが分かる。

2.5 根の観察

2.3 および 2.4 節の結果から、高電圧を印加すれば芝の根にダメージを与えられることが分かった。そこで根の断面を観察した。試料には観察を容易にするため、根がしっかりしている、ハーブの一種であるホワイトプリンセスを選定した。

Fig. 14 に示すように、試料に高電圧を印加した後の根を取り出した。電圧印加処理したものと、処理していないものを顕微鏡で観察した。

観察結果を Fig. 15 に示す。Fig. 15 (a)は電圧を印加する前の破壊が生じていない時の任意の断面を示す。写真

(a) Original

(b) The applied voltage.

Fig. 15. The state of the destruction of the root (×500).

より、根に大きなダメージは観察されていないことがわかる。Fig. 15 (b)は電圧を印加し根に破壊が生じた時の断面の様子を示す。この時、図中の丸で囲まれた箇所に穴が開いており、高電圧印加により根が破壊されたことがわかる。

3. まとめ

本研究は、高電圧を用いた雑草除去効果の確認と適切な除草装置を作製するため、除草のための高電圧印加方法について検討した。その結果、下記のことがわかった。

- (1) 交流高電圧印加による除草効果が実験室レベルで確認できた。任意箇所を除草できる可能性が示された。
- (2) 交流高電圧印加により根に電流が流れ、細胞壁が破壊され成長が停止することが示された。
- (3) 交流高電圧を印加すると部分放電が発生することから、高周波の高電圧を印加すると除草効果が高いことが示された。高周波成分を含む高電圧パルスを用いると装置が容易にできる可能性が高い。

文 献

- (1) 水野彰：「生物・環境産業のための非熱プロセス事典」, pp. 301-306 (1997)
- (2) 水野彰：「高電圧放電による雑草除去」, プラズマ・核融合学会誌, Vol.75, No.6, pp.666-671 (1999)
- (3) 内野敏剛, 松尾昌樹：「高電圧パルス放電により雑草防除」農業機械学会誌 Vol.55, No.4, pp. 137-147 (1993)
- (4) 岩谷茂, 箕田充志：平成 17 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会, p.490 (2005)
- (5) 山陰建設工業, 「通電式除草装置」特開平 8-56548 (1996)
- (6) 箕田充志他：「高電圧工学」, コロナ社, pp.97-98 (2006)

箕田 充志

1998 年 3 月豊橋技術科学大学大学院 工学研究科 電子情報工学専攻修了。2013 年 4 月松江工業高等専門学校電情報工学科教授、現在に至る。高電圧応用の研究に従事。