

マイクロ波を利用した土壌加熱実験

(株) 竹中土木 正会員 ○村谷 優、廣渡 智晶、大村 啓介、宮部 皓太
東京理科大学 正会員 堀越 智

1. 目的

汚染土壌の中でも、油や VOC による汚染土壌については、様々な原位置浄化工法が開発・適用されている。海外では、蒸気や加熱空気による VOC の揮発を大幅に促進する工法の利用もあるが、土壌加熱に要する時間が長く、設備にも特殊設計を求められることから、国内では、このような原位置での熱処理工法についてほとんど行われていない。一方、マイクロ波は誘電体を低コストで効率よく加熱することができる技術であり、土壌の熱処理工法に活用できると考えられる。本実験では、汚染土壌浄化技術の熱源としてマイクロ波の有効性を温度上昇および土壌に対する浸透深さの観点から検討した。

2. 実験概要

電子レンジなどに利用されている 2.45GHz マイクロ波を土壌中に直接照射し、マイクロ波による土壌の温度上昇および土壌に対する浸透深さについて実験を行った。より厳密に実験データを得るため、マイクロ波導波管内に土壌を詰めマイクロ波を照射した。導波管上部から土壌の温度をモニターするため熱電対を一定間隔で設置した。土壌を詰めた導波管の前後には、マイクロ波出力を検出するパワーモニターを接続し、土壌への吸収率を測定した。

3. 実験方法

マイクロ波による土壌加熱装置を図 1 に示す。加熱の対象となる土壌は、長さ 30cm の導波管内に充填し、端部をテフロン板で留め土壌の流失を防いだ。マグネトロンにより発生したマイクロ波は導波管内の土壌にシングルモードで照射した。その途中にはパワーモニターと整合器を接続し、マイクロ波入射および反射波電力の測定および整合器による位相の制御を行った。土壌を透過したマイクロ波は後部に設置したパワーモニターで測定し、反射を防止させるためダミーロードで吸収させた。熱電対は K 型熱電対を使用し、導波管上部に端部から 5、10、15、20、25cm と 5cm 間隔で設置し、土壌内部の温度の測定を行った。加熱は室内温度（約 25℃）から開始し、その上限は土壌温度が 200℃程度までとした。

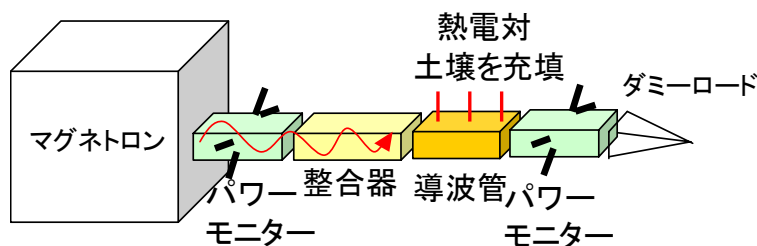


図 1. 実験装置

表 1. 実験ケース

実験 ケース	土 壌		マイクロ波出力 (W)
	種別	含水比(%)	
1	川砂	0	250
2			500
3			1000
4		15	500
5			1000
6	ローム	45	500

各実験条件を表 1 に示す。モデル土壌は含水比 0%および 15%の川砂と含水比 45%のロームについて実施した。土壌の充填は最大乾燥密度に近い値になるように川砂は乾燥密度 1.60g/cm³・湿潤密度 1.84g/cm³、ロームは湿潤密度 1.19g/cm³となるように導波管内にセットした。マイクロ波の出力は、状況に応じて 250W、500W、1000W を利用した。

キーワード マイクロ波、土壌加熱

連絡先 〒136-8570 東京都江東区新砂 1-1-1 (株) 竹中土木 技術・生産本部 TEL03-6810-6215

4. 実験結果

4-1. 川砂 含水比 0%の加熱

VOC の揮発を想定した場合、約 80℃以上の土壌の加熱が必要となる。実験ケース 1 の土壌内温度上昇の結果より(図 2)、25cm 先の土壌でも 17 分の照射時間で 80℃に達した。一方、ケース 2 では距離が遠いほうが早く温まっている場合もあり、これは熱伝導による加熱ではなく、マイクロ波の誘電加熱によって直接的に加熱されたためといえる。この時、マイクロ波出力の 15%が土壌を透過することが分かった。

4-2. 川砂 含水比 15%の加熱

実験ケース 4 における土壌内温度上昇変化を図 3 に示す。水を含んだ土壌に対しては水の沸点である 100℃で温度が停滞する。含水比が高い土壌は、マイクロ波が水分に吸収されるため、ほとんど透過しない。マイクロ波の照射を続けると水分の蒸発によりマイクロ波の透過性が向上する。

4-3. ロームの加熱

川砂よりも細粒分が多く含水比が高いロームでの実験ではケース 4 と同様な温度上昇変化を示したが、加熱にはケース 4 よりも時間を要した。加熱にかかる時間の差異はあったものの、照射端部から 25cm 先まで十分な加熱が可能であったことから、土壌の細粒分の違いは、加熱にはあまり影響がないと考えられる。

5. 考察

実験で得られた結果より、マイクロ波の浸透深さ(加熱可能距離)を検討した。実験ケース 1 および 3 における加熱温度が 100℃に到達した距離と時間を図 4 および図 5 に示す。いずれも対数曲線を示し、近似曲線により実験ケース 1 (川砂 含水比 0%) では約 50cm、実験ケース 3 (川砂 含水比 15%) では約 30cm まで加熱が可能であることが算出された。

6. まとめ

マイクロ波を土壌の熱源として利用することにより、VOC の浄化に有効な温度まで迅速に加熱が可能であることが確認できた。また、乾燥した砂であれば、マイクロ波は土壌中を透過し、土壌内部を速やかに加熱することが可能であった。このことから、マイクロ波を利用した VOC 汚染土壌浄化技術は、短工期かつ低コストな技術となりうると考える。しかし、その浸透深さは 50cm であり、実際の土壌ではより強いマイクロ波出力で照射しなければさらに短くなると考えられる。汚染土壌浄化工法を想定した場合、加熱可能距離は 1m 程度必要である。今後は、加熱効率を上げるための補助剤の選定など、加熱可能距離を向上させることが課題である。

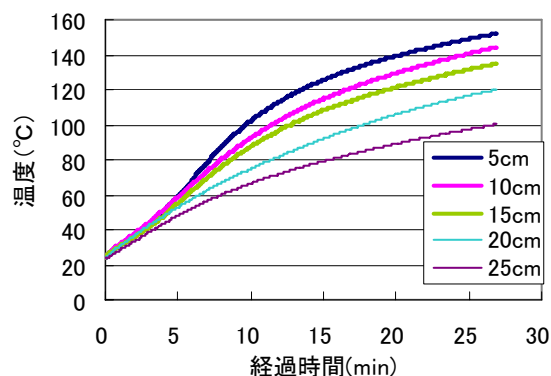


図 2. ケース 1 の加熱時間と土壌温度の関係

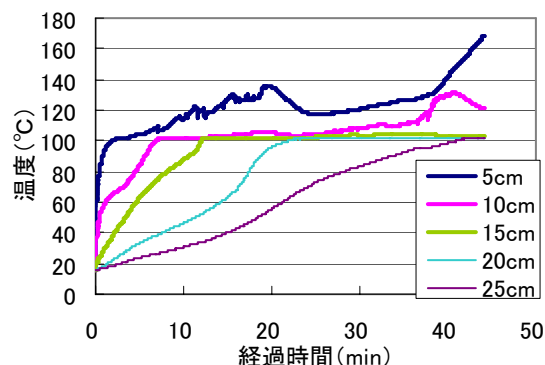


図 3. ケース 4 の加熱時間と土壌温度の関係

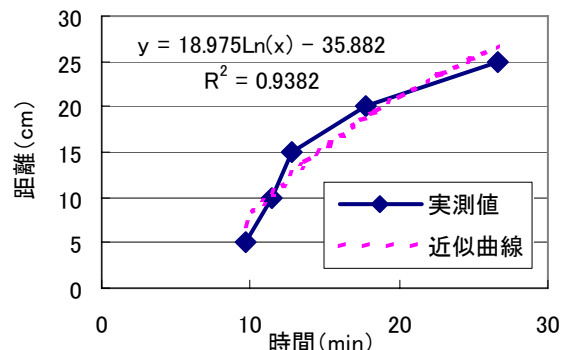


図 4. ケース 1 の 100℃に到達した時間と距離の関係

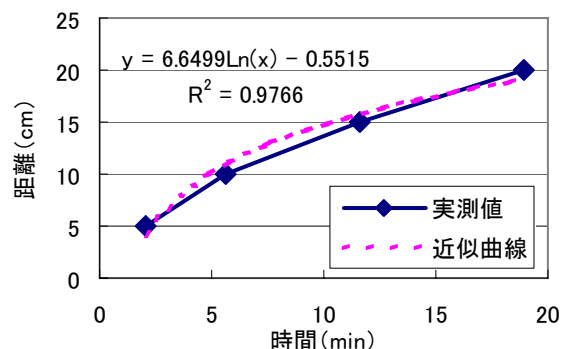


図 5. ケース 3 の 100℃に到達した時間と距離の関係