

廃棄物埋立地における環境モニタリングのための低周波電磁波による無線通信に関する基礎的研究

九州大学大学院 学生会員 ○田添 智也
 九州大学大学院 正会員 中山 裕文
 九州大学大学院 フェロー会員 島岡 隆行
 九州大学大学院 非会員 金谷 晴一

1. はじめに

廃棄物埋立地においては、埋立廃棄物の性状、保有水の水質、発生ガス組成、温度等を把握するための環境モニタリングが求められる。埋立廃棄物層内では、物理・化学・生物的反応が場所によって不均一に生じているため、広大かつ不均質な埋立廃棄物層内において適切な環境モニタリングを実施するには、埋立地内の多数の地点において長期に亘り自動観測できるモニタリングシステムが必要となる。多点自動観測の実現には、無線通信を利用したセンサネットワークを構築することが不可欠であると考えられる。無線通信技術は、① 計測場を貫通するケーブルを使わずにデータを伝送できること、② ケーブルが不要なセンサ等の設置作業が容易であること、③ 断線によるトラブルを回避できることなどの利点を有する。また、無線通信には高周波電磁波と低周波電磁波の2種類がある。前者は通信容量や通信速度は大きいものの地中・岩盤中での減衰が大きい。一方、後者は地中・岩盤中での減衰が少なく¹⁾、地中・岩盤中での利用が考えられる。埋立廃棄物層内では、低周波電磁波により通信を行うことができると期待される。よって、本研究では、廃棄物埋立地を対象とした環境モニタリング技術開発のため、計測データを低周波電磁波によって無線通信する方法について検討した。

2. 実験内容

2.1 低周波無線通信機器

本研究で使用した通信機器を表1に示す。埋立廃棄物層に設置する送信機はデータロガー、送信回路、低周波磁界の送信アンテナ(コイル)、電池で構成される。送信機に各種センサを接続することで、送信機周囲に磁界を形成し、低周波電磁波により設置場所で測定したデータを埋立地内部から地上へと無線送信する。地上に設置する受信機は、アンテナと受信機本体及びコンピュータで構成され、測定データを回収する。

表 1 低周波無線通信機器の仕様

	送信機	受信機
サイズ	Φ48mm×150mm	140mm×140mm×445mm
重量	1kg	6kg
電源	塩化チオニルリチウム電池	リチウムイオンバッテリー
周波数	8533Hzの低周波磁界を送受信	
図		

2.2 実験概要

本研究では、埋立廃棄物として磁力選別で鉄分を除去した焼却残渣を木製型枠に充填し、低周波電磁波による通信特性に及ぼす通信距離の影響(実験1)、鉄の混入が低周波通信に及ぼす影響(実験2)を調べる2つの実験を行った。実験は、福岡市中田埋立場にて、図1に示す焼却残渣を充填した型枠(1,800 mm×550 mm×450 mm)を設置し、通信実験を行った。実験1では、焼却残渣層内で、低周波電磁波による長距離通信が実現できるかを確認する。実験1では、木製型枠(長さ1.8 m)を5つ接合し、1.8 m、3.6 m、5.4 m、7.2 m、9.0 mの距離で通信強度を測定し、通信距離による通信強度の変化を調査した。実験2では、型枠内の焼却残渣に鉄筋(異形棒鋼: Φ13 mm×400 mm)を挿入した際、通信がどのように変化するかを調査した。

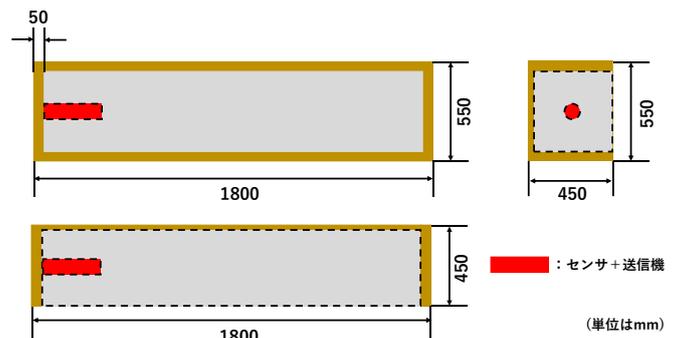


図 1 実験型枠 (1800 mm×550 mm×450 mm)

2.2.1 低周波電磁波による通信特性に及ぼす通信距離の影響

実験1では、図2に示すように焼却残渣を充填した5つの型枠を用いて、焼却残渣層における受信電圧を測定した。測定では、型枠の端部に送信機を設置し、反対側の端部で受信した。焼却残渣層内を通過した通信を測定するため、受信機を電磁波シールドで囲い、経路外からの通信を遮断した。

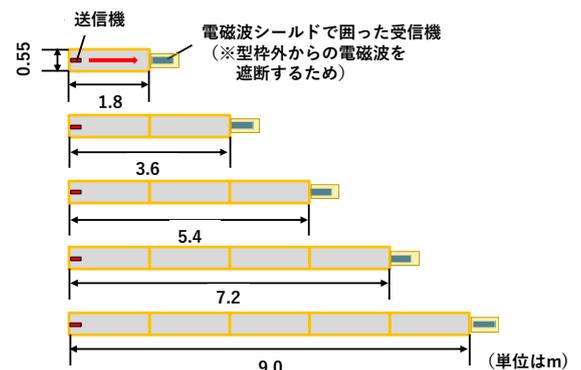


図 2 実験1のイメージ

2.2.2 実験 2：鉄の混入が低周波通信に及ぼす影響

本研究で充填した焼却残渣は大きな鉄分(強磁性体)がある程度取り除かれているため、表 2 に示すように型枠内に鉄筋を挿入し、低周波電磁波による通信がどのように変化するかを調査した。磁力選別前の鉄分の質量割合は約 5%であったため、鉄筋の焼却残渣に対する質量割合を 0%、1%、2%、5%、10% に設定した。

2.3 実験結果と考察

実験 1 で調査した通信距離による受信電圧の変化を図 3 に示す。実験 1 ではどの焼却灰層厚においても焼却残渣層を透過し、通信が可能であった。焼却残渣層内と空気内の受信電圧を比較すると、焼却残渣における減衰は僅かであった。送信機によって形成される磁界の強さ $H(A/m)$ は、次式を用いて電流 $I(A)$ 、アンテナの表面積 $S(m^2)$ 、通信距離 $D(m)$ 、角周波数 $\omega(rad/s)$ 、透磁率 $\mu(H/m)$ 、電気伝導率 $\sigma(S/m)$ より求まる。

$$H = \frac{IS}{2\pi D^3} e^{-\sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}}D} \quad (A/m)$$

空気中では上式の $\frac{\omega\mu\sigma}{2} \cong 0$ であるが、焼却残渣層は空気中より透磁率 μ 、電気伝導率 σ が大きいため、焼却残渣層の方が大きな減衰を示したと考えられる。図 3 の近似曲線(焼却残渣)は $y = 29112x^{-2.783}$ であり、焼却残渣内における通信距離 20 m、30 m の受信電圧を算出した結果、それぞれ 6.97 mVrms、2.26 mVrms であった。本研究で使用した通信機器は、受信電圧が受信位置のノイズに伴い発生する電圧の約 3 倍であれば通信が可能である。実施場所のノイズに伴い発生する電圧は 0.5 mVrms であったため、通信距離 20 m、30 m においても通信は可能であると推測される。

実験 2 で調査した鉄筋の挿入による受信電圧の変化を図 4 に示す。実験 2 の条件下においては鉄筋によって受信電圧が大きく減衰しなかったため、磁力選別を受けていない焼却残渣層内においても通信が可能であると考えられる。

3. まとめ

本研究では、広大かつ不均質な廃棄物埋立地における低周波電磁波による地中無線通信について検討するため、焼却残渣を充填した木製型枠内で通信実験を実施し、以下の知見が得られた。

- (1) 通信距離(焼却残渣層厚) 30 m においても受信電圧 2.26 mVrms であることが分かったため、低周波電磁波は廃棄物層内における通信に有効であると考えられる。
- (2) 本実験条件においては焼却残渣層内の強磁性体による低周波通信への影響は少なく、焼却残渣主体の埋立廃棄物層内においても通信が可能であると判断された。

今後は、焼却残渣の含水率が低周波通信に及ぼす影響やセメント固化した焼却残渣固化体内部の通信との比較について、検討を行う予定である。

【参考文献】 1) 高村尚ら：地下深部岩盤中における無線データ通信特性に関する検討，原子力バックエンド研究，12 巻，1-2 号，pp.21~30，2006

表 2 実験 2 における鉄筋の配置

鉄筋の焼却残渣に対する質量割合(%)	鉄筋の配置図	鉄筋の焼却残渣に対する質量割合(%)	鉄筋の配置図
0		5	
1		10	
2			

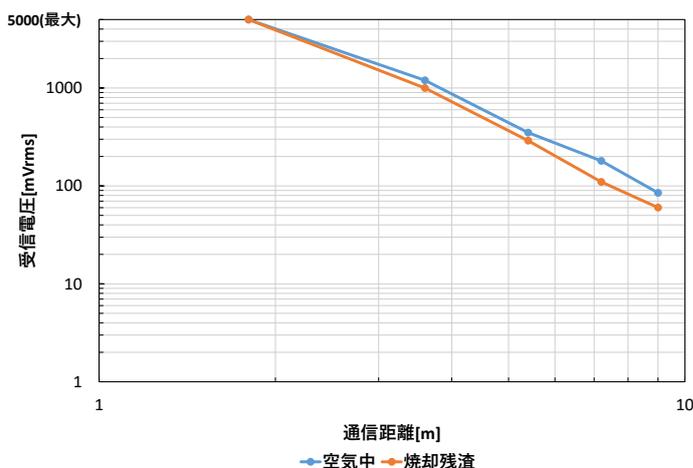


図 3 通信距離による受信電圧の変化

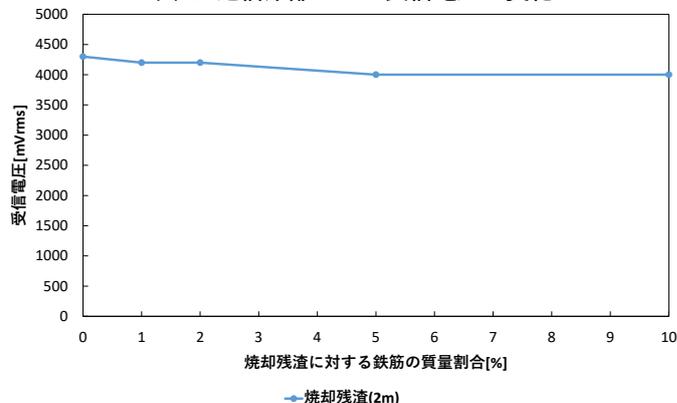


図 4 鉄筋の挿入による受信電圧の変化