

電気ポテンシャル法を用いた地中埋設管の欠陥形状推定

Shape Identification of Coating Defect in Underground-Pipeline using Electrical Potential Method

神戸大学 自然科学研究所 小島 史男 Fumio KOJIMA Member

神戸大学 自然科学研究所 ○Saliphone OUTHACHACK Student Member

A computational method for recovering adjacent defect shape is considered using a model based approach related to an electrical potential method. An inspection model for the electrical potential method is formulated by a Poisson's equation in three dimensions. The defect shape is then described by the intensities of source functions. The output least square method is applied to our inverse algorithm. The effectiveness of our approach is shown in the laboratory experiments.

Keywords: Nondestructive testing, Inverse problems, Finite Element method, Identification

1. 緒言

ガス・上下水道など地中埋設管には地盤変動、地震による破損、腐食など、老朽化が進行しているものが数多く存在する。このような地中埋設管に関して、掘削せずに地中埋設管の健全性評価ができ、欠陥の位置等を高精度に、迅速かつ安価に行える非破壊評価技術の開発が必要である。これまでに本研究では電気ポテンシャル法に有限要素法を用いた高精度な傷パラメータの推定手法を提案してきた[1]。その実問題への適用可能性を示すため、研究室における模擬環境下で探傷実験を行い、その実験データを用いて提案した検査モデルの有用性が検証できた[2]。しかし、近接複数欠陥の場合、欠陥の大きさが検出信号に影響するため、欠陥診断は困難な問題となる。本研究では模擬環境下で実験を行い、モデルによる欠陥形状推定問題について考察する。

2. 欠陥形状同定

埋設管は腐食を防ぐための絶縁体被膜で覆われており、その被膜が腐食・損傷しているときに埋設管内部に電流を流すと、その欠陥箇所から電流が漏洩するそのため、埋設管に生じた欠陥箇所を電流源とみなすことができる。よって、Fig. 1のように埋設管に沿って地表面の二点間電位差を測定することにより欠陥の位置・大きさを同定することができる。しかし、欠陥である塗膜損傷が近接して複数個存在する場合、欠陥の大きさ

がお互いに影響を及ぼしあっているため欠陥形状を推定する問題は多くの環境条件による影響を受ける。探傷実験において計測した実験結果をもとに欠陥の大きさをパラメータで設定した解析モデルを用いた探傷検査システムの構築について以下考察する。

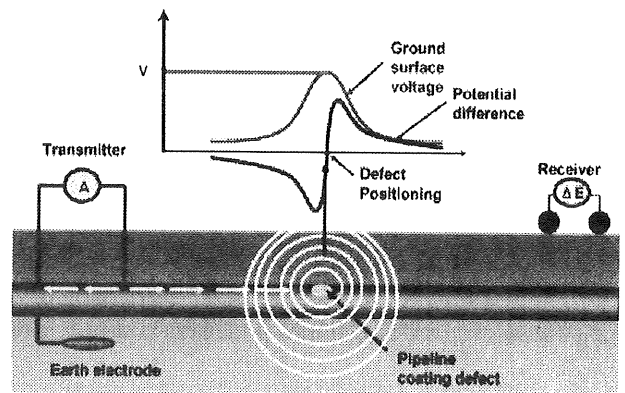


Fig. 1 Inspection using electrical potential method

検査領域はポテンシャル場であり、ポアソン方程式を基に検査モデルを構築する。三次元空間内で囲まれる三次元解析領域 Ω において定義されるポテンシャル場の問題を考える。電気ポテンシャルを ϕ で表し、ポテンシャル ϕ の支配方程式として、次式のポアソン方程式を用いる。ここで f は電荷密度、 σ は導電率とする。

$$-\nabla \cdot \sigma \nabla \phi = f \quad \text{in } \Omega \subset R^3 \quad (1)$$

f は地中埋設管の絶縁体被膜が損傷して埋設管内部を流れる電流が地中に漏れ出す強さを表す電圧である。欠陥箇所は電流源となり、電圧の大きさは損傷具合を示している。このようにして、問題は次式の線形問題

連絡先:小島史男、〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1、神戸大学自然科学研究科、電話:078-803-6493、e-mail:kojima@cs.kobe-u.ac.jp

として解くことができる。

$$\begin{cases} \mathbf{A}\mathbf{u} = \mathbf{b}(\mathbf{f}) \\ \mathbf{y}(\mathbf{f}) = \mathbf{C}\mathbf{u} \end{cases} \quad (2)$$

\mathbf{C} は以下に示す表面電位差を検出するための係数行列である。

$$[\mathbf{C}]_{ij} = \begin{cases} 1 & j = j^i \\ -1 & j = j^r \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

また、 \mathbf{f} は次の電荷密度の要素列である。

$$\mathbf{f} = [0 \cdots v_1, 0 \cdots v_k \cdots v_n, 0 \cdots 0]^T \quad (4)$$

\mathbf{f} の入力電圧は埋設管の欠陥箇所に応じて決定される。 n は解析領域内の埋設管に存在する損傷の数とする。欠陥形状は欠陥箇所とみなした埋設管の要素に与える入力電圧値 v_k ($k = 1, 2, \dots, n$) で与える。

3. 研究室実験

3.1 実験条件 提案した検査モデルの妥当性を検討するため、探傷実験を行った。その概略図を Fig.2 に示す。実験においては、 $1200.0 \times 800.0 \times 400.0$ [mm] の容器を使用した。

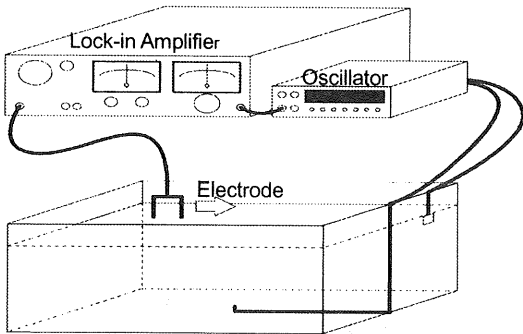


Fig. 2 Experimental setup

本実験では土の代わりに水道水を容器に満たす。解析領域内の環境条件を一定とした理想モデルとする。ここで境界面となる側面・底面にアルミ板を貼り、アースと接続し、実験容器の境界面を等電位面にする。アルミ板の設置は境界面で生じる電流の跳ね返りを抑え、検出する信号にノイズが含まれることを防ぐ。埋設管に生じた欠陥は点電荷と考え、発振器と接続したエナメル線の断面から流れる電流源を模擬欠陥とする。二つの電極を用いて表面電位差の検出を繰り返し行う。電極はロックインアンプと接続し、ロックインアンプからテストで表面電位差を表示する。

3.2 実験結果 検査モデルに基づいた実験の結果を掲示し、提案した解析モデルの結果と比較する。実験

容器には水を 160.0mm 満たし、エナメル線により模した欠陥を水深 60.0mm に設置する。模擬欠陥は発振器から電流を流し、探傷の数は 2 に設定し、与える電圧値はそれぞれ 1.5V、1.0V と設定した ($n = 2, (v_1, v_2) = (1.5V, 1.0V)$)。周波数は 23.0Hz とした。表面電位差は電極を用いて測定し、電極間を 20.0mm として 5.0mm 間隔で繰り返し検出を行った。実験では 245.0mm、445.0mm の位置に模擬欠陥を施した。解析結果と測定結果との比較を Fig. 3 に示す。

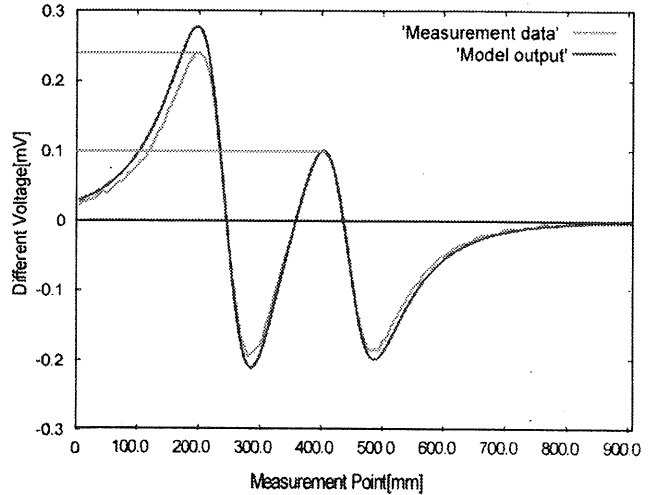


Fig. 3 Measurement data Example

4. 結語

埋設管に生じた欠陥が近接して複数存在する場合、それぞれの欠陥がお互いに影響を及ぼし合って正確な傷情報を得るのは難しい。本研究では欠陥形状の大きさを解析モデルで設定し、その有効性を検証した。複数欠陥形状は点電荷として与える電圧の位置、大きさを有限要素ベクトルで設定し、有限要素解を求める検査解析モデルを構築した。その結果近接欠陥における検出信号と比較して十分な結果を得ることができた。この順解析モデルに基づく欠陥位置および形状を推定する逆解析計算アルゴリズムについては現在検討中である。

参考文献

- [1] F.Kojima Y.Hirabashi: Geometrical Recoveries and Positionings for Flows of Infrastructures using Electrical Potential Method "Review of Progress in Quantitative NDE" July 25-30,2004
- [2] 小島、高岸:電気ポテンシャル法を用いた地中埋設管の欠陥評価、第 18 回計算力学講演会予稿集、日本機械学会 pp.139-140 (2005)