

電気抵抗変化法を用いた地下埋設パイプの 損傷モニタリング技術の開発

日大生産工（院） ○佐々木 優 日大生産工 平林 明子 日大生産工 邊 吾一

1. 緒言

現在の日本で使用されている多くのライフラインは高度成長期に作られたもので、老朽化による事故が社会問題になっている¹⁾。これらの事故の発生は、耐用年数以上の使用や、設備の健全性の情報がないことにより、事前に明確な予防措置が取りにくいことが主な原因と考えられる。この問題の解決法の一つとして、損傷による電気抵抗の変化を利用したヘルスマニタリングがある²⁾。

現在、生活する上で欠かせない社会インフラである上水道、下水道、電力、ガス、通信などのライフラインの多くは地下埋設形であり、これらのライフサイクルコストは膨大となるため、耐用年数をできるだけ延ばすことが必要とされている。また、補修や交換などの工事を実施する場合、道路を掘り返す必要があるが、車道掘削に伴う制約条件のため新たな管路の設置や老朽管の更新の障害となっている^{3,4)}。

これまで本研究では、耐震性と耐食性に優れた高密度ポリエチレンをマトリックスとし、導電性フィラーにカーボンブラックと山武杉木炭を使用した低コストで成形性に優れた導電性パイプ⁵⁾を開発してきたが、本報告では、数値解析によるフィラーの分散の評価と、電気抵抗の変化を利用した損傷モニタリング技術の開発をした結果について報告する。

2. 電気抵抗の変化の測定

2.1 試験片と測定方法

微小な電気抵抗の変化を測定するために、ホイートストンブリッジを組み、傷の深さと電気抵抗の変化の関係を測定した。

実験に用いた材料は押し出し成形により成形した高密度ポリエチレン (HDPE) にカーボンブラック (CB)、山武杉の木炭パウダー (CP) を71wt% : 9wt% : 20wt%の割合で配合した内径53mm外形60mmのポリエチレンパイプを使用した(Fig.1)。このパイプを30mm, 50mm, 70mm, 120mm, 170mmに切断し、両端10mmを使用しブリッジに繋げる為の電極を導電性接着剤で接着した。そのため、電極間の距離は10mm, 30mm, 50mm, 100mm, 150mm

となっている。傷は試験間距離の中央に周方向にのこぎりでつけ、傷の深さはノギスで測定した。測定にはホイートストンブリッジ (Fig.2) を用い、傷の深さが0mmのとき、1mm, 2mm, 3mm, 貫通するまでの5種類を1種類の試験片から測定した。また、測定した可変抵抗の値は検流計の値が0になった時の値を測定した。なお、R1, R2は100Ωの固定抵抗を使用し、R3には可変抵抗を使用した。



Fig.1 PE/CP/CB composites pipe

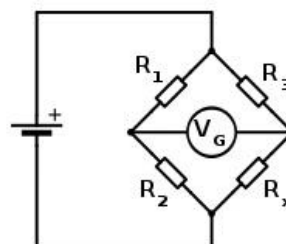


Fig.2 Wheatstone bridge

2.2 結果と考察

実験結果をFig.3からFig.7に示す。図中縦軸がホイートストンブリッジの検流計が0を示した時の可変抵抗の抵抗値、横軸が傷の深さである。試験結果から、すべての試験片で傷の深さが10mmで電気抵抗の変化を検知した。このことより、150mmまでなら深さ1mm程度のキズであれば簡易的なブリッジで検知することができることがわかった。また、電極の距離が30mm, 50mm, 100mmでは傷の深さと抵抗値の関係が比例ではなく指数関数的に増えていることがわかる。これはパイプを周方向にのこぎりで傷をつけているため、傷の深さが増すごとに新しく傷つけられる断面積も増えているのが原因だと考えられる。

Development of Damage Monitoring of Underground Composite Pipes
Using Electrical Resistance Changing Method

Yu SASAKI, Akiko HIRABAYASHI, Goichi BEN

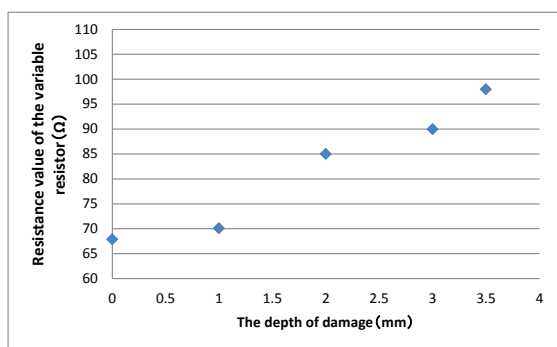


Fig.3 Electrode distance of 10mm

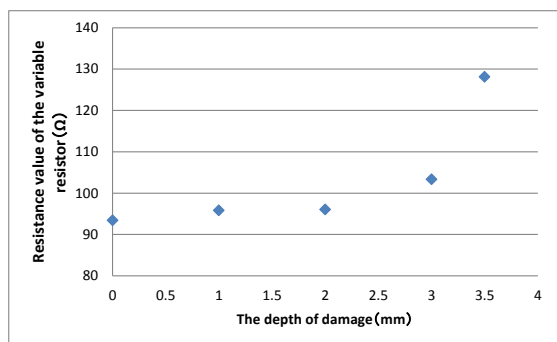


Fig.4 Electrode distance of 30mm

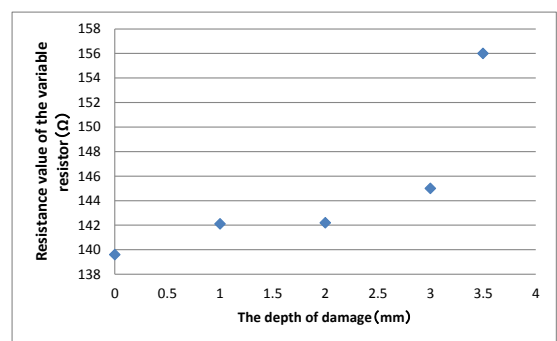


Fig.5 Electrode distance of 50mm

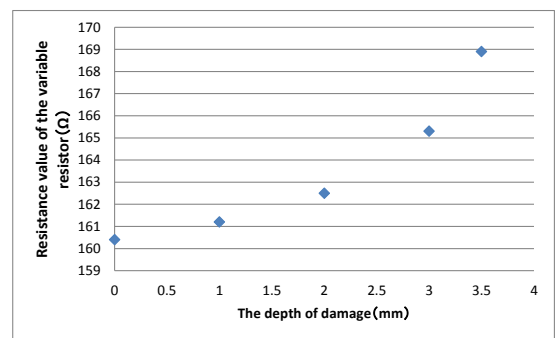


Fig.6 Electrode distance of 100mm

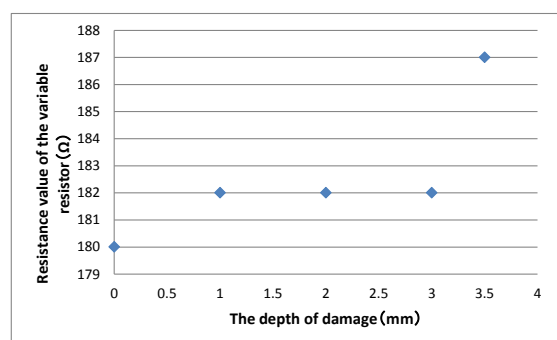


Fig.7 Electrode distance of 150mm

3. Eshelbyの理論の応用

3.1 解析手法

本来Eshelbyの理論はマトリクス内の含有物を1種類として扱うが、本研究ではHDPEの2種類の介在物にEshelbyの理論を適用した。その式が以下のようになる。

$$k^e = k^m + v_1(k^1 - k^m) \frac{3k^e}{k^1 + 2k^e} + v_2(k^2 - k^m) \frac{3k^e}{k^2 + 2k^e}$$

$$\rho_v = \frac{1}{k^e}$$

ここで k^e は有効電気伝導率、 k^m はマトリクスの電気伝導率、 k^1 はCBの電気伝導率、 k^2 はCPの電気伝導率、 v_1 はCBの体積含有率、 v_2 はCPの体積含有率、 ρ_v は体積抵抗率である。また、各物性値をTable1に示す。

Table 1 Physical properties of material

	Electric Conductivity (S/m)	Volume Fraction (%)
HDPE	10^{-15}	62.7
CB	10000	21.4
CP	100	15.9

3.2 解析結果1

解析結果をTable 2 に示す。シートの試験片では $7.2\Omega \cdot \text{cm}^5$ だったが、解析では $6.9\Omega \cdot \text{cm}$ となり、誤差が4.2%だった。昨年度は3次元CTによる目視でのフィラーの分散の確認のみだったが、理論的にフィラーがマトリクス内に分散していることがわかった。

Table 2 Analytical value obtained

Experimental value	Analytic value	error
$7.2\Omega \cdot \text{cm}$	$6.9\Omega \cdot \text{cm}$	4.2%

4. 結言

- 1) 電極の距離が150mmまでなら深さ1mmのキズも検知することができた。今後は電極の距離を伸ばして試験する必要がある。
- 2) 導電性テストとEshelbyの解析値がほぼ一緒であった。

5. 参考文献

- 1) 小林恭一：施設の老朽化と維持管理の時代，Voice, Vol.12(2007), 1-2.
- 2) 王経国, 邊吾一：Fabrication and Characteristics of PE/Carbon Nanocomposites, Proceedings of The seventh Asian-Australasian Conference on Composite Materials, (2010.11)
- 3) 川合克実：材料から見た地下管路の設備の耐震化・長寿命化, 日本非開削技術協会, No-Dig Today, No.73 (2010.10), 5.
- 4) 丸山孝志：社会を支える地下管路設備のいま, 日本非開削技術協会, No-Dig Today, No.72 (2010.7), 4.
- 5) 佐々木優, 平林明子, 邊吾一, 野村靖一：Development of Underground Composite pipes Having Health Monitoring Functions, Proceeding of The 9th Canada-Japan Workshop on Composite (2012.7)