

弾性波を用いた埋設物探手法の適用性に関する基礎的実験

三井住友建設	正会員	○程塚 保行
東京大学	正会員	水谷 司
三井住友建設	非会員	神山 圭佑

1. はじめに

試掘確認が困難な深度 1~10m の埋設物は、ボーリング掘削による探査などが行われ、調査に多大な労力を要している。そのため、この深度の効率的な探査手法の開発が求められている。

著者らは、深度 1~10m の埋設物探査手法の開発を目的として、非接触で高密度の測定を可能とするレーザードップラー振動計に着目して深度 2.5m の矩形函渠を対象に反射法弾性波探査手法を用いた実験を実施した。その結果、矩形函渠上面の位置を特定できたものの、取得した波形が不明瞭なため S/N 比の向上が課題となった¹⁾。その要因として、不均質な地盤で地下の埋設物から散乱し反射した波の複雑さと微弱さ²⁾が挙げられる。それにより、地表面を伝搬する直達波と表面波が微弱な埋設物からの反射波を覆い隠してしまうこと、埋設物からの反射波にも P 波の反射、S 波の反射、P 波や S 波へと変換して反射する変換波などがあり探査波形上でそれらの判別が困難となることが懸念される。このことから、不均質でなく均質な地盤で探査を実施することができれば、S/N 比の高い明瞭な反射波が取得でき、数値シミュレーションを用いて理論的に開発手法の適用性を評価できる可能性が期待できる。

本研究では、深度 1~10m の埋設物を探査する手法の確立のための基礎的な検討として、比較的均質な地盤内に設置した埋設管を対象に実施した実験結果について報告する。

2. 埋設物探査実験

均質な地盤での実験を実施するため、比較的均質な関東ローム層を深度 3m 掘削し、埋設管を 1.5m と 2.5m の深度に埋設して実験場を整備した。埋戻しの際には掘削土で厚さ 30cm 毎に転圧して締め固めた。実験レイアウトを図 1 と写真 1 に示す。測線は埋設した内径 0.5m のヒューム管の中央部直上を横断する方向に配置した。受振点は 0.1m 間隔で 81 点、起振点は測線から X 方向に 0.5m オフセットして 1 点配置した。起振器は、周波数変調が可能なバイブレータ振源を用い、20~400Hz で牽引するチャープ方式で起振した。

1) 起振－受振方向の検討

明瞭な反射波が取得可能な起振－受振方向を検討した。本研究で着目しているレーザードップラー振動計での測定は 1 点毎となるため時間を要する。そのため、測定作業の効率化と複数機器での再現性確認のため、同時に複数点の測定が可能なジオフォン及び弾性波探査測定器を使用した。測定方向は起振及び受振とも 3 方向(X,Y,Z)とした。測定データは起振器に送信したチャープ信号を用いて相互相関処理を適用した。適用後の探査波形を図 2 に示す。探査波形より直達波の P 波や S 波、表面波が認められる。そして、X 方向の探査波形から双曲線状に分布するピークが 2 つの埋設管の水平位置に対応する反射波、起振点の水平位置に対応する反射波が確認できる。それらの反射波は、分布位置からそれぞれ 2 つの埋設管からの反射波と掘削底面からの反射波と推定される。

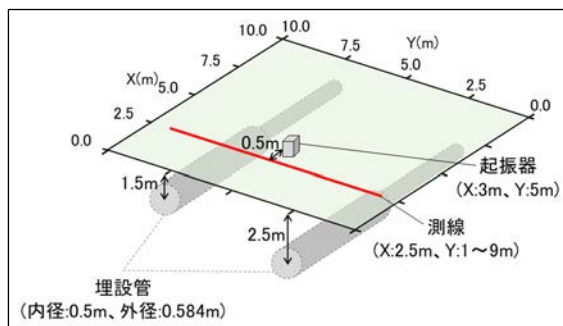


図 1 実験レイアウト



写真 1 実験状況

キーワード 地下埋設物 反射法弾性波探査 数値シミュレーション
 連絡先 〒270-0132 千葉県流山市駒木 518-1
 三井住友建設(株) R&D センター TEL04-7140-5200

2) 数値シミュレーションによる探査波形の検証

図1の実験レイアウトを模擬した数値モデルを作成し、3次元の数値シミュレーションを実施した。数値モデルの物性値を表1に示す。数値モデルの大きさはX:10m×Y:10m×Z:20mとし、Z=3m以浅を掘削範囲、それ以深を関東ロームの物性値に設定した。グリッド間隔は0.05mとした。数値シミュレーション波形を図3に示す。図2と図3の比較から直達波(P波やS波)や表面波は概ね同様であり、図2の反射波が掘削底面の反射波や埋設管からの反射波であることが確認できた。また、図2と図3とも埋設管からの反射波は、起振－受振方向がX方向の探査波形が最も明瞭であり、埋設管の敷設方向へ起振し受振することが有効であることが確認された。

表1 数値モデルの物性値

	P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	密度 (t/m ³)
掘削範囲	300	90	1.1
関東ローム	470	130	1.4
ヒューム管	3800	2400	2.4

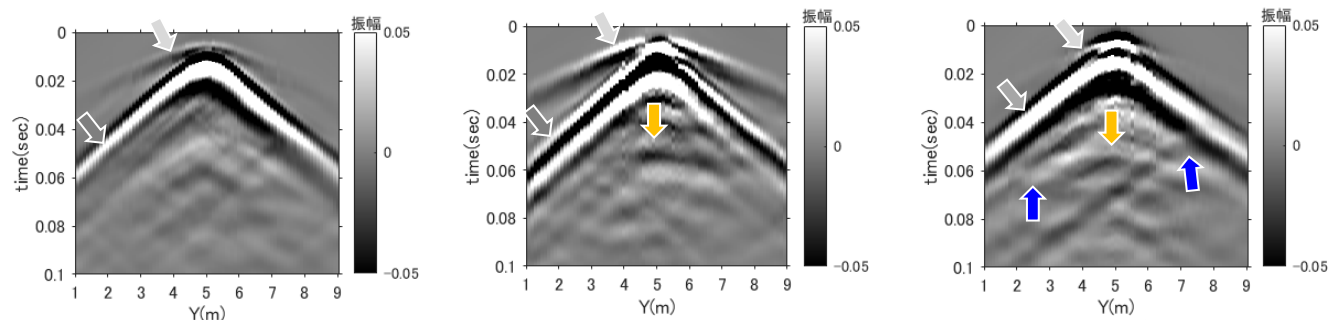


図2 ジオフォンの探査波形
(起振－受振方向, 左: 鉛直方向, 中央: Y方向, 右: X方向)

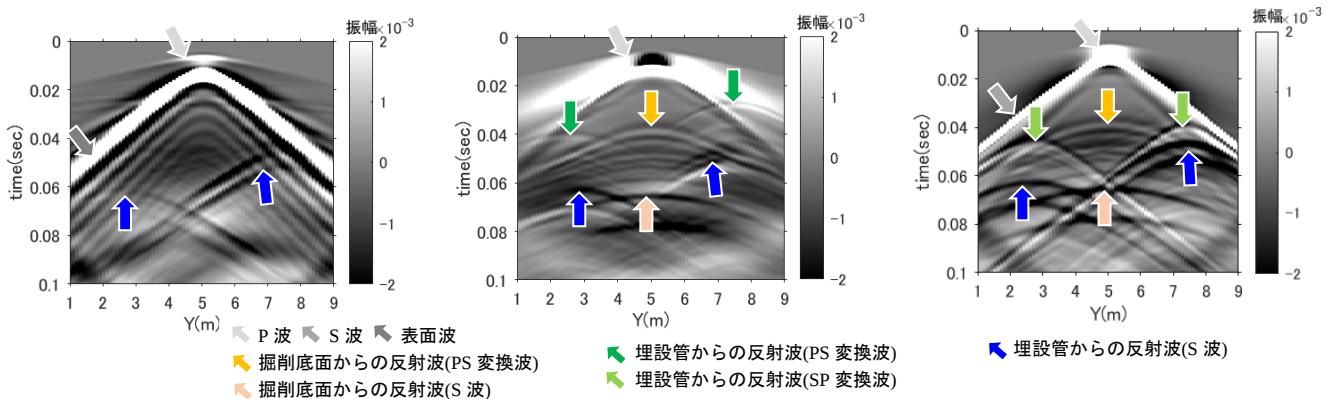


図3 数値シミュレーションの探査波形
(起振－受振方向, 左: 鉛直方向, 中央: Y方向, 右: X方向)

3) レーザードップラー振動計を用いた非接触測定

上記の検討を踏まえて、レーザードップラー振動計を用いてX方向に起振し受振した。図4に示す探査波形から、ジオフォンや数値シミュレーションの結果と同様な探査波形が得られ、明瞭な反射波を確認することができた。

3. まとめ

深度1～10mの埋設物探査手法の適用性を評価するために、均質な地盤にヒューム管を埋設して実験を実施し、数値シミュレーション結果と比較した。その結果、数値シミュレーション結果と整合した直達波や表面波、埋設管からの反射波を得ることができ、埋設物探査における適切な起振－受振の方向と開発手法の適用性が確認できた。

参考文献

- 1) 程塚・他：弾性波を用いた埋設物探査手法に関する基礎的実験，令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会論文集，2022。
- 2) Bachrach, R., et al. : 3D ultra shallow seismic imaging of buried pipe using dense receiver array - Practical and theoretical considerations, GEOPHYSICS, VOL. 75, NO. 6, G45–G51, 2010.

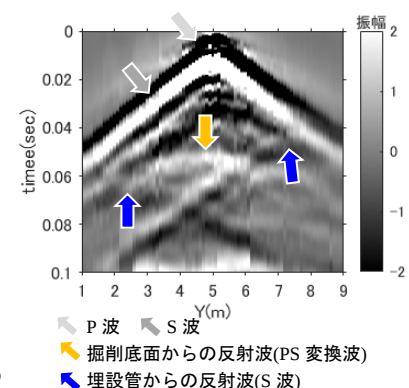


図4 レーザードップラー振動計の探査波形
(起振－受振方向: X方向)