実路における地中レーダによる埋設管土被りの測定精度の向上に関する実験

大阪産業大学　正会員　○久保寺貴彦
前田道路株式会社　正会員　郭　慶煥
アイレック技建株式会社　正会員　田中　宏司
アイレック技建株式会社　非会員　高橋　清
大阪産業大学　学生非会員　内藤　健二

1. はじめに

地下空間には，上下水道，ガス，電力，通信などの施設が埋設されており，開削時に位置が誤っていると目的外の埋設物に直面してしまう．このため，地下空間をできる限り正確に把握する技術が必要である．

現地調査で埋設管の位置を知る方法には，地中レーダを用いる方法がある．地中レーダは，電磁波を照射して，電気的特性の異なる物質の境界で反射し，伝播する物質によって速度が異なることを利用して，測定記録断面の画像判読によって地中を探査する．埋設管の位置を判読するには，電磁波は埋設管上面の曲面で散乱するので，上に凸な双曲線の縞を判読する．現実には，上に凸な双曲線の縞は明確でないことが多く，この画像判読には経験が必要であることが課題である．

著者らは，地中レーダの測定精度を向上させるためには，画像判読のしやすさが必須であると考え，埋設管上面において電磁波を正反射しやすいよう矩形の金属板を設置して，既知の土被りを用意し，金属板の有無および土被りを容易に変更できるよう土槽での実験を繰り返し行ってきた[1]．その結果，土被り 0.6m と 0.2m ともに，埋設管上面に金属板を設置したことにより，測定記録断面について，上に凸な双曲線の幅が比較的広くなったこと，さらに，黒と白の縞が明確になったことがわかり，金属板を設置したことで相対誤差を 15%ほど低減することができた．しかしながら，土槽のサイズが小さいために測定波形に土槽の壁の反射の影響が出ており，波形の判読に経験が要求されたこと，論理展開をするための実験ケースが不十分であったことなど課題が残っていた．

信頼性および完成度を高めるため，より多角的な実験と考察が必要であることから，土槽から実路へ変更して，実験ケースを 4 ケースから 8 ケースに増やして，地中レーダをハンディ 500 からエスパーEX に変更して，地中レーダによる埋設管土被りの測定精度の向上に関する実験を行うこととした．

2. 研究方法

(1) 埋設管と鉄板

使用した埋設管と鉄板を**図-1** に示す．埋設管と鉄板のサイズは，既往の研究[1]を参考にした．埋設管の材質は，一般的な VP 管(塩ビ管)とした．

材質の比誘電率[2)-4)]は，**表-1** とされていて理論上，電気的特性の異なる物質の境界が存在する．

(2) 鉄板有無と土被りを変化させた実路

2018 年 11 月 27 日と 28 日，前田道路技術研究所(茨城県土浦市)にて鉄板有無と土被りを変化させた施工を行った．鉄板有無と土被りを変化させた簡易図面を**図-2** に示す．土槽での実験と比べて，壁がないことに加え，実験ケースを 4 ケースから 8 ケース(土被り 1.0m, 0.8m, 0.6m, 0.4m ごとに鉄板有無)に増加しつつも施工が 1 回で済むように，測定が 1 日で済むようにした．**図-3** に敷設状況を示す．1 層の仕上がり厚さは，アスファルト舗装の路床盛土の施工管理を参考にして 0.2±0.02m としてランマを用いて締固めた．

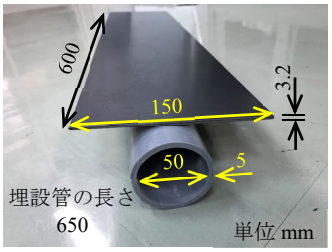


図-1　鉄板有の埋設管

表-1　比誘電率

材質	比誘電率
空気	1
ポリ塩化ビニル	2.8～3.1
土壌:ローム質，乾燥	3～6
土壌:ローム質，湿潤	10～20
真水	81
金属	∞

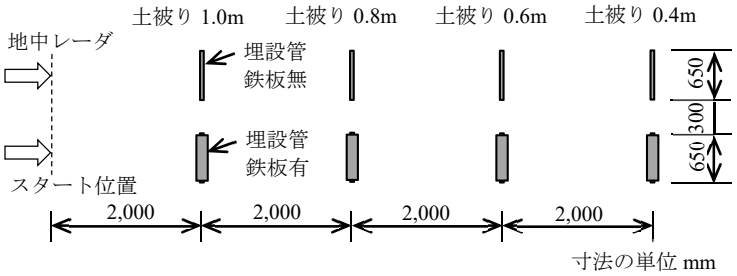


図-2　鉄板有無と土被りを変化させた簡易図面(平面図)

キーワード　:地中レーダ, GRP, 埋設管, 土被り, 鉄板
連絡先　　:〒574-8530　大阪府大東市中垣内 3-1-1　kubodera@ce.osaka-sandai.ac.jp

© Japan Society of Civil Engineers

図-3　埋設管の敷設状況

図-4　エスパーEX による測定

(3) 地中レーダによる浅層領域の探査

地中レーダは，アイレック技建(株)の浅層領域の探査可能なエスパーEX を用いた．エスパーEX は，パルスレーダ方式，中心周波数 800MHz，探査深度 1.5m 程度である．エスパーシリーズは，非開削で主に通信など埋設管路の位置を探査するため，実用化した汎用機である．2019 年 1 月 10 日，エスパーEX は，探査深度 1.5m モードで**図-4** のように測定した．路床のキャリブレーション誘電率 ε_s は，土被り 0.6m にて行った．この結果，ε_s は，鉄板無では 14.44，鉄板有では 19.36 であった．地中レーダは，鉄板有無の 2 工区それぞれ 3 回，計 6 回走行させた．

(4) 路面と土の状況

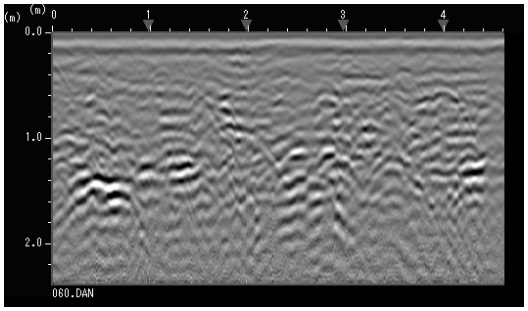
路面の状況を把握するため，2019 年 1 月 10 日，MRP による測定を鉄板有無の工区でそれぞれ 2 回の計 4 回行った．この結果，MPD は 1.75mm 程度であった．

本実験で使用した土の試料は，前田道路技術研究所内で採取したものである．土の状況を把握するため，2019 年 1 月 10 日，砂置換法による土の密度試験を 4 箇所について行った．この結果，4 箇所平均の締固め度は 88.7%であり，平均の含水比 w_n は 23.1%であった．また，突固めによる土の締固め試験呼び名 C-b 法を 7 ケースについて行った．この結果，最大乾燥密度 ρ_{dmax} は 1.538g/cm^3 であり，最適含水比 w_{opt} は 22.5%であった．

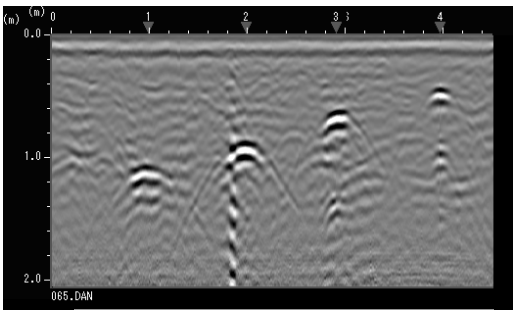
3. 土被り測定の結果

測定記録断面を**図-5** に示す．縦軸は土被り[m]を示して 1 目盛 0.2m，横軸はスタート位置からの距離を示して 1 目盛 0.4m である．なお，▽上の 1～4 はマークした測定番号である．鉄板無では，測定 3 回とも全て画像判読不能であった．鉄板有では，測定 3 回とも地盤内に多くの細かな縞が見られたものの，鉄板の設置箇所では上に凸な双曲線の縞が相対的に明確になったことにより画像判読可能になった．土被り位置は，上に凸な双曲線の縞の 2 波目，すなわち，黒の双曲線の頂点とした．

鉄板有における埋設管土被り測定結果(測定 1 回目)を**表-2** に示す．測定土被りは，測定 3 回中それぞれ 0.02m 以内差に収まっていた．実土被りは，測定終了後，側面から開削して実際の土被りをコンベックスルールで計



(a)　鉄板無(測定 1 回目)　判読不能



(b)　鉄板有(測定 1 回目)　判読可能

図-5　測定記録断面

表-2　鉄板有における埋設管土被り測定結果(測定 1 回目)

ケース	1(土被り 1.0m)	2(土被り 0.8m)	3(土被り 0.6m)	4(土被り 0.4m)
測定土被り[m]	1.05	0.86	0.61	0.42
実土被り[m]	0.991	0.798	0.607	0.397
誤差[m]	0.059	0.062	0.003	0.023
相対誤差[%]	5.95	7.77	0.49	5.79

測した実測値である．この実土被りに対する測定土被りの誤差と相対誤差を算出した．今回，キャリブレーションで用いたケース 3(土被り 0.6m)を除くと，土被りの変化に対する傾向は見られなかったが，誤差 0.023～0.062m 程度，相対誤差 5.79～7.77%程度の精度で測定可能であることが示された．

4. おわりに

鉄板を設置したことで，上に凸な双曲線の縞が相対的に明確になったことにより画像判読可能になった．実土被りに対する測定土被りの相対誤差を算出した結果，相対誤差 5.79～7.77%程度の精度で測定可能であることが示された．

参考文献

1) 久保寺貴彦，政春尋志，渡部舜二，石森智也，石田哲朗：地中レーダによる埋設管の土被り測定の向上に関する実験，土木学会全国大会，第 73 回年次学術講演会講演概要集，V-638，pp.1275-1276，2018.
2) 社団法人　物理探査学会　編：新版　物理探査用語辞典，愛智出版，p.260，2005.
3) 実用プラスチック事典　編集委員会：実用プラスチック事典　材料編，産業調査会，p.66，1993.
4) 竹中克己：コンクリートの非破壊検査方法 (原理と手法)，コンクリート工学，Vol.27，No.3，pp.36-42，1989.

© Japan Society of Civil Engineers