

## 論文の内容の要旨

Title of Dissertation Automatic 3-D Localization of Utility Pipes and Void from Ground Penetrating Radar Signals by Deep Learning and Digital Signal Processing

(地中レーダー信号の深層学習と解析学的信号処理による埋設管・空洞の三次元位置推定)

氏名 山口 貴浩

Name of Author Takahiro Yamaguchi

近年、インフラの老朽化が重要な社会問題となっている。埋設管について、下水道管の総延長は約 47 万 km に達するが、今後 20 年で耐用年数を経過した下水道管は全体の約 30 % に達することが予想される。老朽化した下水道管により発生した空洞による路面陥没は年間約 3,000 件発生しており、大きな社会問題となっている。また、道路管理者が把握していない既設埋設管が存在することで工期の遅れや管の破損を招き、管理者だけでなく周辺地域に大きな経済的損失を与える場合がある。本研究では、非接触・高速かつ高密度な路面下のモニタリング手法として、Ground penetrating Radar (GPR, 地中レーダー) 法に着目する。GPR 法では、車載されたレーダーにより 80 km/h で高速な探査が可能のため、車線規制を行う必要がない。しかし、GPR 法では熟練した検査員による検知が必要であり、数十 km 区間の計測で数テラバイトに及ぶ膨大な三次元データが得られ、数ヶ月・数百万円の検査コストを要する。そこで、AI と解析学的信号処理を組み合わせることで、高速かつ高精度にレーダーデータから埋設管及び空洞の反射パターンを自動検知し、検査コストを大幅に削減できることが期待される。

本研究の目的は、AI と解析学的信号処理の組み合わせによるレーダー信号からの埋設管・空洞の高精度かつ高速な三次元マッピングである。本研究における検知対象は、マンホール・ジョイント及び路面下に存在する地中埋設管及び空洞である。

検知アルゴリズムの適用において、人工知能を含むパターン認識による手法では、偽信号であるマンホールやジョイント下の多重反射を埋設管や空洞として誤検知することが分かった。そこで、本研究では、SVM によって分類精度約 98 % と高精度に表面反射からマンホール・ジョイントを検知するアルゴリズムを構築し、検知領域を埋設管・空洞の探査領域から除外した。

本研究では、埋設管については検査員の目視の検知に基づく多数の教師データを収集しているが、

空洞については教師データ数が少なく、人工知能の学習においては十分ではない。そこで、空洞について、FDTD法に基づく電磁界シミュレーションにより、教師画像を生成した。三次元的な特徴を学習する場合は、3D-FDTD法による電磁界シミュレーションは計算コストが膨大で、教師データの生成においては現実的ではない。そこで、各投影断面についての二次元空洞モデルの解析結果を組み合わせることで、2D-FDTD法により三次元空洞データを生成する手法を提案した。

人工知能による自動検知手法として三次元のConvolutional Neural Network (3D-CNN)を用いて、レーダー画像から深層学習により埋設管・空洞の三次元的な反射パターンを検知することで、アルゴリズムの高精度化を図った。空洞に関して、3D-CNNにより分類精度約87%と一般的な検査員による検知と匹敵する精度が得られた。埋設管に関して、検知アルゴリズムは3カテゴリ分類により、埋設管の有無だけでなく、走行直角・走行方向の埋設管の向きも分類精度約92%と高精度に推定可能である。一方で、実用的な埋設管のマッピングを行うため、特定領域から対象物の位置を特定する必要である。そこで、本研究では、検知された領域に対してマイグレーション手法の一種であるKirchhoffマイグレーションを適用することで、埋設管位置を三次元空間上にプロットした。

本研究では、電磁界シミュレーション・人工知能・逆解析アルゴリズムを組み合わせることで、高速かつ高精度にマンホール・ジョイント・埋設管・空洞と多岐にわたる対象物を三次元空間上に全自動でマッピングするアルゴリズムを構築できた。