

下水道管維持管理向け地中空洞検知技術

梅山 聡*
星野 越寛**

Sensing Technique of Underground Cavity for Maintenance Management of Sewerage Pipe

Satoshi Umeyama, Takehiro Hoshino

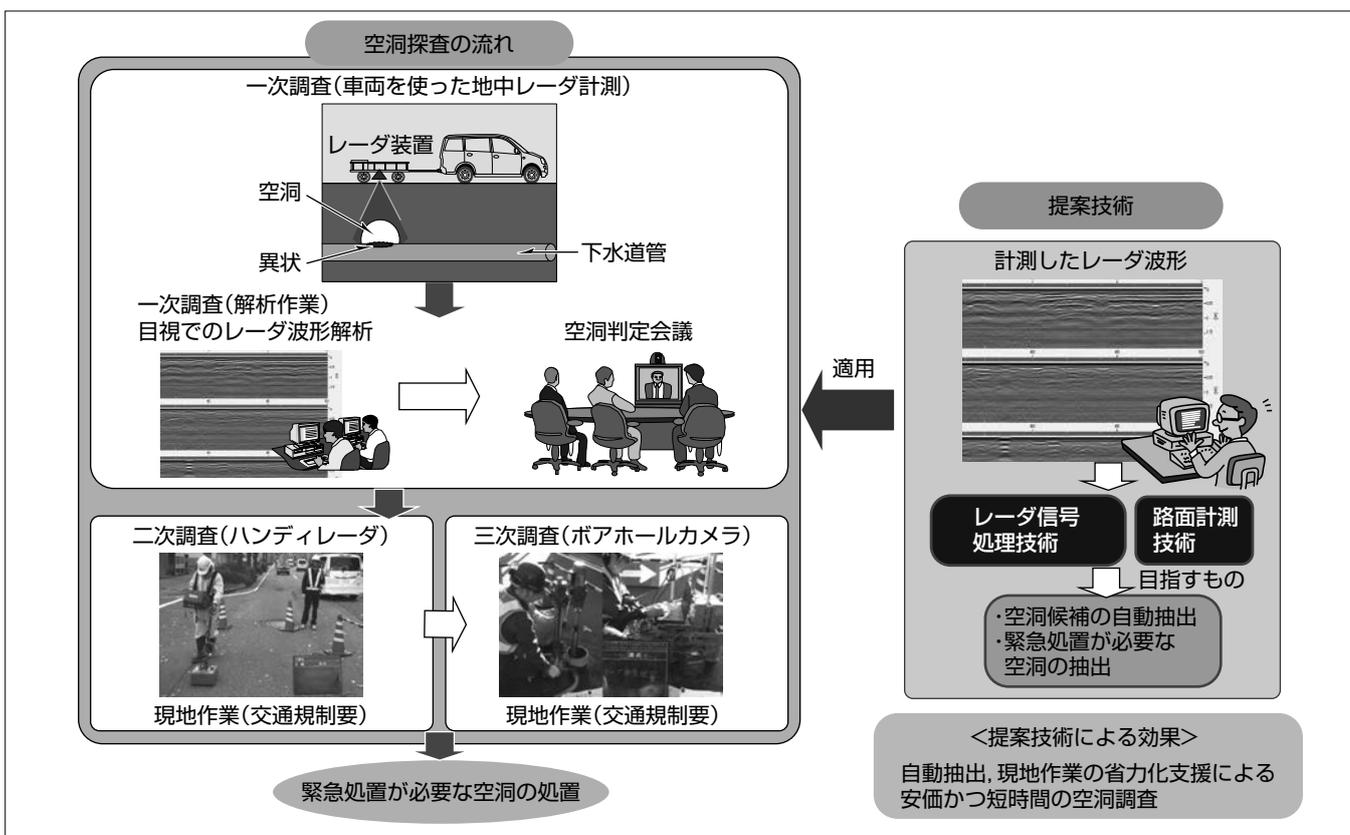
要 旨

日本では建設後50年以上経過した老朽化インフラが急増し、限られた予算の中で、効率的な維持更新が求められている。国土交通省では道路、河川、港湾、鉄道、下水道等社会インフラの維持更新のため国土交通省インフラ長寿命化計画(行動計画)(2014年5月)を策定し、点検・診断における非破壊・微破壊での検査技術、ICT(Information and Communication Technology)を活用した変状計測等の新技術による高度化・効率化に取り組んでいる。

社会インフラの1つである下水道は、建設後50年以上経過した老朽管が全国で約1.3万km(総延長の3%)ある。その老朽管の破損など下水道管に起因する道路陥没が、年

間約3,300件発生しており、重大事故が発生する前に対策を打つ必要がある。そのため国土交通省は、下水道管に起因する道路陥没の兆候やその原因となる異状を効率的に検知可能な調査点検技術を公募する実証研究を実施している。

三菱電機は、衛星分野で実績のあるレーダ信号処理技術と、三次元レーザを用いた路面計測技術を組み合わせた地中空洞検知技術が評価され、この実証研究に採択された。実証研究では計測した地中レーダ波形から空洞候補を自動抽出し、緊急処置が必要と考えられる空洞を抽出できることが分かった。今後の実証研究で更なる抽出精度の向上を図り、短時間かつ安価な空洞探査の実現を目指す。



空洞探査の流れ

現在の空洞探査は車両で計測したレーダ波形から空洞候補を判定する一次調査、ハンディレーダから空洞候補を判定する二次調査、ボーリング孔内にカメラを入れる三次調査から構成される。当社は下水道管に起因する空洞探査でレーダ信号処理による高解像度化技術と路面計測技術を適用し、空洞候補の自動抽出や緊急処置が必要な空洞を抽出することで、現地作業の省力化を可能にする短時間かつ安価な空洞探査を目指している。

1. ま え が き

下水道管の総延長約47万kmのうち建設後50年を経過した老朽化管は現在約1.3万km(総延長の3%)存在している。50年経過管は10年後には約4倍に増加する見込みであり、将来的には老朽管の破損など下水道管に起因する地中空洞発生に伴う道路陥没によって重大事故が発生するリスクが高まる。このため、下水道施設を管理する自治体は、下水道管を迅速かつ適切に点検調査し、効率的な維持管理を実施していく必要がある。

自治体では目視できない管について管内テレビカメラ調査で下水道管点検を行っているが、1日に調査できる距離が短く、さらにkm当たりの単価が高いことから、全ての下水道管を調査するには多くの時間とコストがかかる。さらに老朽管の破損などによって発生する地中空洞の状態は管内テレビカメラ調査では把握することはできない。

一方、道路分野では、道路陥没を未然に防ぐために地中空洞探査が行われている。近年では、道路陥没が下水道管に起因するものも増えていることから、危機感を持つ自治体は、下水道分野でも地中空洞探査を行い、道路陥没対策に努めている。しかし、予算的制約から、総延長の地中空洞探査による安全確認に数年かかる状況となっている。

国土交通省では管内テレビカメラ調査では発見できない下水道管に起因する道路陥没やその原因となる異状を効率的に検知可能な調査点検技術を下水道革新的技術実証事業(以下“実証研究”という。)で公募しており、当社は2015年からその実証研究に参画している。

本稿では、陥没の兆候の検知を目的にした地中空洞検知の実証研究に当社が持っているレーダ信号処理技術と路面計測技術を適用した成果について述べる。また、下水道管の維持管理に向けて、その成果を組み込んだ下水道管維持管理サービスについて述べる。

2. 実 証 研 究

2.1 下水道革新的技術実証事業と当社の取組み

2.1.1 下水道革新的技術実証事業

国土交通省では、「新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー創出等を実現するため下水道革新的技術実証事業(B-DASH/Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project)に取り組んでいる。」(国土交通省報道発表資料抜粋)

老朽管の破損など下水道管に起因する道路陥没などの発生リスクが高まっている中、道路陥没を未然に防ぐため、従来の調査技術では発見できない道路陥没の兆候やその原因となる異状を効率的に検知可能な調査点検技術を2015年に公募し、下水道管管理への適用可能性等を検証するため

の研究を進めていくことにした。

2.1.2 当社の下水道分野への取組み

当社は衛星分野で実績のある高分解能な画像が取得できるレーダ信号処理技術と、三次元レーザを用いた路面計測技術を持っている。道路陥没を未然に防ぐため、下水道管に起因する地中空洞に上記の技術を適用して効率的に検知する提案が評価され、この実証研究に採択された。

2.2 実証研究で適用する技術

実証研究で適用する技術は、地中レーダ(Ground Penetrating Radar: GPR)を使ったレーダ信号処理技術(図1)と、三次元レーザを用いた路面計測技術(Mitsubishi MMS for Diagnosis: MMSD)であり、この技術を使って道路陥没の兆候を示す危険な地中空洞を安価にかつ短時間に検出することを目指している。

2.2.1 レーダ信号処理技術

地中レーダ探査は、車両が地中レーダ装置を牽引(けん引)し、レーダ装置から数GHz~数10MHzの電磁波を地中に照射して受信した反射波の確認によって埋設物の探査を行う手法である。埋設物からのレーダ反射波は、地中レーダ装置の仕組みから弓型(図2)となり、埋設物の1つである空洞の判定には有識者の熟練した知識が必要となっており、目視の判読に時間を要するという課題がある。

課題解決にはレーダ反射波画像の分解能向上が有効であるが、通常、分解能を上げるためにはレーダのアンテナの直径を極めて大きくする必要がある。当社は、埋設物からのレーダ反射波にレーダ信号処理技術を適用することに

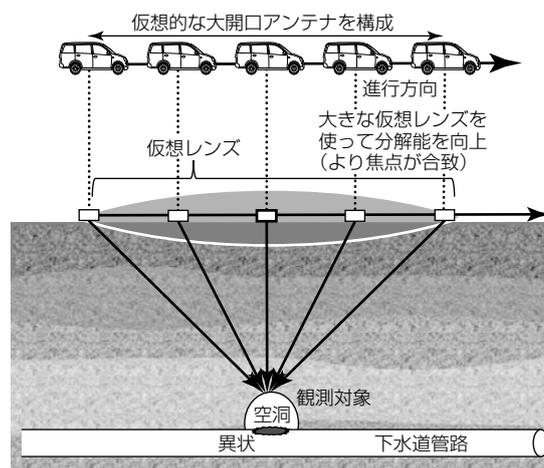


図1. レーダ信号処理技術の概念図

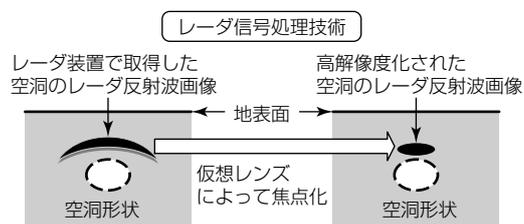


図2. レーダ信号処理を適用した空洞箇所の画像

よって、車両で牽引可能なアンテナサイズでも分解能向上に成功した。具体的には、車両の進行方向に仮想的な大開口アンテナを構成し、この仮想アンテナが仮想レンズの役割を果たすことによって、焦点が合致した高解像度な画像を得ることができる(図1)。

図2の左側の弓型の画像は、破線で示している空洞箇所を従来の地中レーダ探査で得られる画像イメージである。右側の画像は、レーダ反射波にレーダ信号処理技術を適用したイメージであり、仮想レンズの効果によって、実際の空洞の大きさに近い高解像度な画像を得ることができる。

2.2.2 路面計測技術

下水道管の破損等によって発生する空洞箇所の特定には、下水道台帳に記載されているマンホールと下水道管の接続情報を用いるが、測量した時期が古くて時間も経過していることから、台帳上のマンホールの位置が実際の位置と合っていないという課題がある。

そこで、この実証研究では、当社の開発したMMSD技術を用い、路面のへこみを抽出とマンホールの位置補正を行い、下水道管の位置を把握することによって、位置特定を容易にした。

MMSDは、レーザスキャナと高精度GPS(Global Positioning System)を用いて車両から路面を三次元計測する路面計測技術である。MMSDでは、計測した三次元点群データの処理によって、正確な位置情報を含んだ高密度な点群画像を生成できる(図3)。

路面計測技術によって路面のへこみと下水道管の位置を把握し、レーダ信号処理技術から、空洞箇所を抽出することで、下水道管付近の空洞や空洞上部の路面のへこみを確認することが可能になる。

2.3 実証研究の成果

実証研究では、2.2節で述べた技術を適用して空洞候補を自動抽出し、空洞と判定したものを緊急処置が必要な空洞候補を選別可能とした。また、その研究成果を踏まえ今後の実証計画についても述べる。

2.3.1 空洞候補の自動抽出

まず、車両のGPRで計測したレーダ反射波にレーダ信号処理技術を適用し、高解像度化したレーダ波を解析することで空洞候補の自動抽出について検証した。

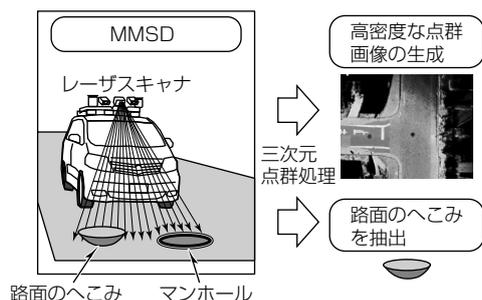


図3. 路面計測技術の概念図

自動抽出では、レーダ反射波の情報を仮想レンズによる解像度向上を行った上で、点群の情報に変換し、その点群情報をレーダ波の位相情報を使って集約化する。集約化された点群情報が、空洞を持つ特徴と合致するかを判定することによって、空洞候補を抽出する手法を考案した。

表1は、現在空洞探査で使われている技術(以下“従来技術”という。)とこの実証研究で空洞候補の自動抽出技術による抽出結果の一例を比較したものである。従来技術は、車両によるGPR計測、ハンディレーダ(手動)によるGPR計測、ボアホールカメラ調査を経て空洞有無の判定を行っているが、三次調査であるボアホールカメラによる空洞有無の判定と当社技術の判定が同じ結果となっていることが分かる。特に空洞候補箇所No. 3, 4, 5では、車両のGPR計測やハンディのGPR計測からでは有識者の目視でも判断しづらかった空洞有無の判定が当社技術では判定できている。

2.3.2 緊急処置が必要な空洞候補の選別

次に、2.3.1項で抽出した空洞候補と2.2.2項の路面計測技術で述べた下水道管と路面のへこみの正確な位置の情報を用いて、緊急処置が必要な空洞の選別について検証を行った。

緊急処置判定は、複数の緊急度判定項目に対し重み付けを行った上で数値化し、合計点によって判定する手法を考案した。緊急処置が必要な空洞の選別は、表2に示す緊急処置判定(案)に対し、実証を行っている段階である。

この実証研究では、緊急度判定項目として考えられる、①厚み大きい空洞、②広がり大きい空洞、③空洞上部に路面のへこみがある空洞を計測データから確認すること

表1. 従来技術と当社技術の空洞箇所の抽出結果(一例)

実施内容	従来技術			当社技術
	一次調査	二次調査	三次調査	一次調査
計測	車両GPR	ハンディGPR	ボアホールカメラ	車両GPR
解析	レーダ波の目視による空洞抽出	レーダ波の目視による空洞抽出	カメラ画像による空洞判定	レーダ信号処理技術を適用し、空洞有無を判定
No.1	○	○	○	○
No.2	△	○	○	○
No.3	○	△	○	○
No.4	△	△	○	○
No.5	△	△	×	×

○…その調査方法で空洞候補(又は空洞)と判定したのもの
 △…その調査方法では空洞候補(又は空洞)と判定できないもの
 ×…その調査方法で空洞候補(又は空洞)ではないと判定したのもの

表2. 抽出した空洞候補に対する緊急処置判定(案)

緊急処置が必要と考えられる緊急度判定項目	想定される危険	重み	空洞候補			
			No.1	No.2	No.3	No.4
空洞の厚み大きい	道路陥没につながるおそれあり	5	○	○	-	-
		3	-	-	○	○
空洞上面に路面のへこみがある	道路陥没がおこる可能性あり	5	-	-	○	-
空洞の位置が浅い	道路陥没がおこる可能性あり	3	○	-	-	-
下水道管に近い空洞	下水道起因の陥没	3	○	-	-	-
...	...					
緊急度の判定例：0<緊急度低≤5, 6<緊急度中≤10, 10<緊急度高		数値判定	11	5	8	3
			高	低	中	低

維持管理

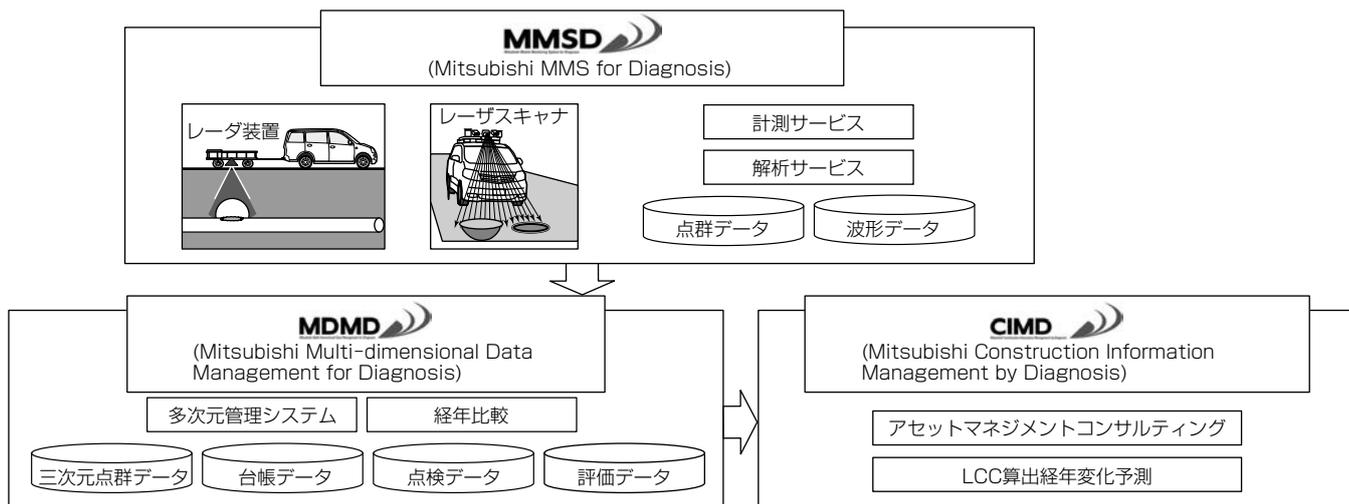


図4. 下水道維持管理サービスのイメージ

が可能か検証した。

その結果、①厚みが大きい、又は②広がり大きいと考えられる空洞については、計測データから特徴を捉えることができ、その特徴が従来技術で計測した空洞のサイズとの間で相関を持っていることを確認した。③空洞上部の路面のへこみについては、空洞候補の自動抽出手法で得られた空洞箇所と路面のへこみ位置との相関を確認した。

2.3.3 今後の実証研究の内容

実証研究の結果、車両によるGPRを使ったレーダ信号処理技術とMMSDを使った路面計測技術を使って、空洞候補を自動抽出し、緊急処置が必要な空洞候補を選別できることが分かった。今後は、2.3.2項で示した項目以外の緊急度判定項目や重み付けを使った数値化方法を継続検討し、計測データを増やしながら、空洞候補の自動抽出や緊急処置が必要な空洞候補の選別手法の評価や検討を行い、精度を高めていく予定である。

3. 下水道管の維持管理に向けて

実証研究で適用している地中空洞検知技術の当社下水道管維持管理サービスへの組み込みについて述べる。

当社の社会インフラ維持管理サービスは、次の3つのサービスで構成される。

- (1) 計測・解析サービス (MMSD/三菱インフラモニタリングシステム)
- (2) 多次元設備管理サービス (MDMD: Mitsubishi Multi-dimensional Data Management for Diagnosis/三菱多次元設備管理システム)
- (3) コンサルティングサービス (CIMD: Mitsubishi Construction Information Management by Diagnosis/三菱CIMアセットマネジメントシステム)

MMSDは、社会インフラの現在の状態を計測・解析するサービスであり、MDMDは、計測した三次元データを時系列データとして管理し、社会インフラの経年比較を提

供するサービスである。CIMDは、維持管理計画策定のためのコンサルティングサービスとなっている。

下水道管の維持管理に向けて、実証研究の成果を組み込んだ場合のMMSD、MDMD、CIMDの内容を次に述べる。図4はMMSD、MDMD、CIMDによる下水道管維持管理サービスのイメージを示したものである。

下水道管に対するMMSDは、下水道管に起因する空洞探査の計測・解析サービスを指す。計測したデータから安価にかつ短時間で空洞候補の抽出と緊急処置が必要な空洞の選別を行うサービスとする。

MDMDは、抽出した空洞の三次元レーダ波形データ、三次元路面計測データにGPSで計測した位置情報を付与して管理する。さらに下水道台帳や下水道管の点検業務で行われている管内テレビカメラ調査結果も合わせて管理することで、劣化している下水道管、空洞箇所、路面のへこみの重畳表示機能やそれぞれの空洞箇所、下水道管に対応する空洞探査結果データ、下水道管点検結果データとの連携表示機能を提供する。また、定期点検による空洞探査結果や下水道管点検結果データも管理することで、空洞や下水道管の経年変化を比較して確認できる機能を提供する。

CIMDは、LCC(Life Cycle Cost)算定機能や経年変化予測機能を使って、維持管理計画の策定を行うコンサルティングサービスを提供する。

4. むすび

国土交通省が公募している下水道革新的技術実証事業に参画し、道路陥没の兆候検知を目的とした地中空洞検知技術の実証研究の成果と下水道管の維持管理に向けた当社のサービス内容について述べた。

2017年度も、下水道管維持管理への適用に向け地中空洞検知の実証研究を継続していく。その成果を当社の下水道管維持管理サービスに組み込み、顧客インフラの維持管理業務の効率化に貢献する。