

Part2 調査探査の非開削技術



[出席者・敬称略]

司会：森田 芳樹（JSTT事務局長）

出席者：今川 明（本誌編集企画小委員）

黒岩 正信（ ）



特集/地上からの探査調査の非開削技術

森田：先ほどの「ライフラインの建設」に続いて「調査探査の非開削技術」について座談会を進めさせていただきます。私は、このパートについての進行役を務めさせていただきますJSTT事務局の森田でございます。よろしくお願いいたします。

この「調査探査の非開削技術」は、ライフライン建設時においては既設の地下構造物や障害物の探査のために使われ、またライフラインの維持管理では管路の変形、破損、劣化などの調査、診断などに用いられ、近年重要度がますます増してきている技術です。

「調査探査の非開削技術」については58号と59号で特集いたしました。58号では「地上からの調査探査の技術」、59号では「地下埋設管内からの調査探査の技術」を扱いました。本日はそれぞれの特集をご担

当いただいた本誌企画編集小委員会の黒岩さんと今川さんにお越しいただいております。最初に各号での特集のねらいとそこで紹介した技術内容について、簡単に振り返っていただきたいと思います。では58号での「地上からの調査探査の技術」特集について、ご担当いただいた黒岩さん、よろしくお願いいたします。

地上からの調査探査の技術

黒岩：「地上からの調査探査の技術」では、管の口径にかかわらずライフラインの埋設位置と地下空洞の調査（平面位置と深度）ならびに推進工事で障害になる鋼矢板の根入れや松杭の配置間隔などの探査を行う技術を対象としています。

第一クールでは、一般的に用いられている地下レーダー探査機や電磁誘導式埋設物探査機などを紹介しましたので、第二クールではそれらの課題の一つである深度的な問題を解決できそうな技術を紹介しています。また、第一クールで紹介されている道路管理システムと連携できる調査機器（GPS活用）も取り上げました。また、包括的な論文ですが、技術課題や探査技術者と道路管理者との関係についても助言をいただいたものを取り上げています。

四つの論文の概要を順に述べていきます。



写真-1 ケーブルエクスペローラーでの計測状況

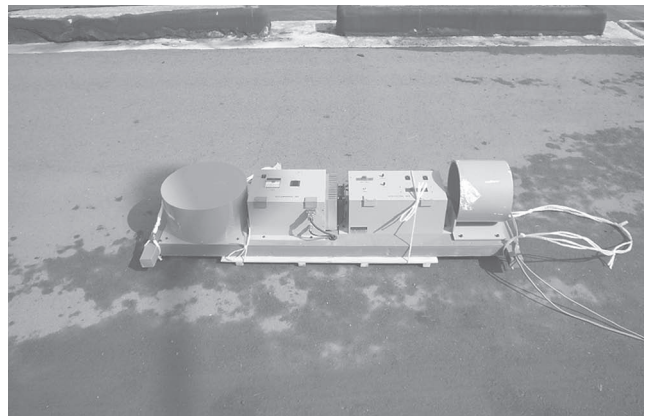


写真-2 FDEM探査装置

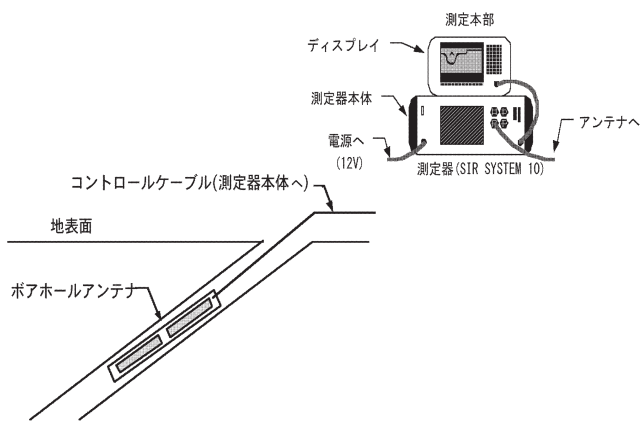


図-1 ボアホールレーダーシステム概要

①電磁誘導法による連続的な地下埋設物探査技術「ケーブルエクスペローラー」について

これは、電磁誘導型探査機を二つ組み合わせて埋設位置をディスプレイ表示できるようにしたもので、情報BOXのような長距離の設備を連続的に探査できるようにしたものです。また、GPS機能を付加したことで、調査結果をGPSの座標で図面に自動的に表示できるようにしたところにも特徴があります(写真-1)。

②ボーリング孔を利用したボアホールレーダー探査

この手法は、推進工事で河川を横断推進するときに橋台下の松杭配置間隔などの調査ができなかったところをセンサーの小型化でブレイクスルーした技術で鋼矢板の根入れ調査なども含めて、深度に関わらず調査できるところに特徴があります。ボーリング孔が必要となりますが、非開削の推進工事の障害物になるものの探査技術で、コスト縮減に貢献できる技術として紹介しています(図-1)。

③マルチ周波数型EM探査と原位置試験を用いた地盤の空洞・ゆるみ調査手法の開発

ここで紹介した事例は岸壁裏の空洞調査ということですが、数mまでの空洞やゆるみが把握できる可能性があり、技術が確立したらライフラインの分野への展開の可能性を期待して紹介しています(写真-2)。

④地上からの非開削埋設管探査技術

この論文は包括的な論文ですが、課題として、埋設物が輻射したところでの精度向上開発(ノイズ除去:対コスト)と発注者への探査方法の説明と理解を求める(試験掘との違いや利点など)必要があるのではと述べられています。

58号の振り返りとしては、以上です。

地下埋設管内からの調査探査の技術



森田: ありがとうございます。では次に59号での「地下埋設管内からの調査探査の技術」特集について、ご担当いただいた今川さん、よろしくお願いいたします。

今川: はい。わたくしが担当いたしました59号では「地下埋設管内からの調査探査の技術」という観点で特集を行いました。

先日、NHKのニュースにも取り上げられていましたが、去年は4400箇所の道路陥没事故が起こり、私

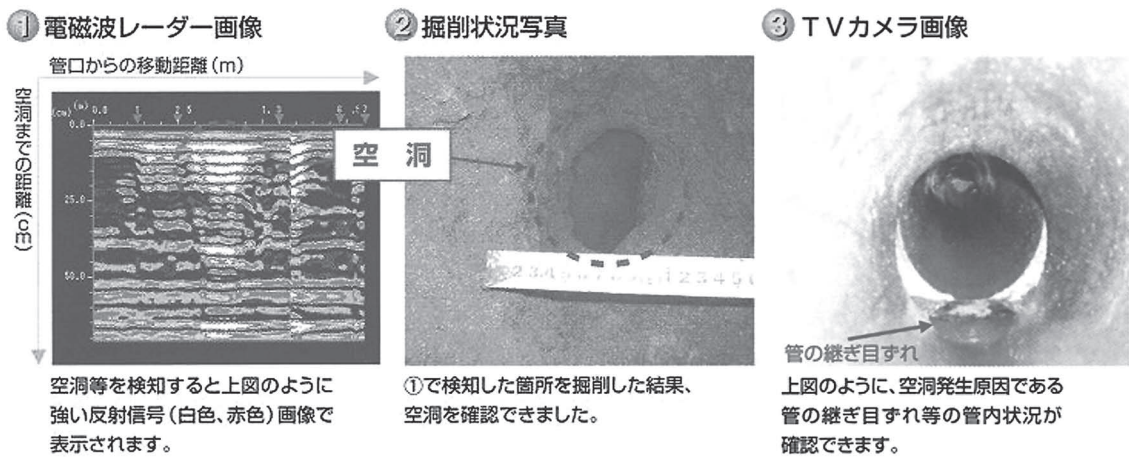


図-2 画像データ（下水道取付管空洞探査機）

達の生活環境がおびやかされているという内容でした。老朽化した下水道管が原因となって、道路下に空洞ができ、それが進行していくことで、日本各地で道路陥没事故が起こっているというのが実態です。つい最近までは、まだまだ新管敷設のほうに目が向き、地下に埋設された下水道管がどんどん劣化が進むなか、どんな状態になっているのかという実態は、管理者側も把握していなかったというのが現実だと思います。それゆえに、管路調査に多くの予算が割かれるということもなかったのでしょう。ところが近年、このような事故がクローズアップされるようになり、管路管理という立場においては、地下埋設管路の状況をきっちり把握する必要性が生じた結果、調査というところにやっと目が向けられてきたのだと思います。それではこの59号で特集した、地下埋設管の内面側からの管路調査・診断技術について紹介しますと、下水道取付管の周囲の空洞を探査する技術として、電磁波レーダーを利用し、管外面の空洞を探査すると共にTVカメラを使用して実際の管内面の状況も同時に把握する技術を紹介しています。また、他には、ガス等の鋼管の劣化状況を把握する技術として、超音波を利用して、管の残存肉厚やクラックの有無を計測する技術などを紹介しています（図-2）。

管内面からの調査手法としては、従来から、大口徑であれば、管内に人が入り、目視、打音検査が行われ、小口径であればTVカメラによる調査が行われていました。いずれも定性的な調査手段であることから、なんとか定量的な手段がないかということで、研究されてきたのが、衝撃弾性波による診断技術であり、この手法を用いることで、下水道管一本毎の管の劣化状況が定量的に把握できるという技術を紹介しています。単に技術紹介ではなく、施工事例を豊富にした内容で編集させていただきました。

ライフラインのマッピングと ダメージの調査診断

森田：ありがとうございました。「調査探査の非開削技術」を、その目的から見ると、1つは「ライフラインのマッピング」のための技術があります。ここでは電磁波、電磁誘導、音響、ジャイロなどの技術を使った管路位置検知とGPSなどが組合わされた技術です。また管路建設時には既設の地下構造物や地中障害物の位置探査が必要となり、開削による調査も行われますが、非開削による調査では電磁波、電磁誘導、音響などによる探査技術が使われます。これらの多くは地上からの非開削技術です。また近年、道路の陥没事故の増加が問題となっていますが、その原因である地下空洞、あるいは緩みの調査の技術があります。これには電磁波などが使われています。これらは地上から探査する技術、また管内から探査する技術もあり、使い分けされています。

「調査探査の非開削技術」のもう1つの目的として、ライフラインのダメージや老朽化の調査診断があります。ダメージとしては破損、変形などがありますが、その調査技術にはレーザやカメラが使われ、画像処理

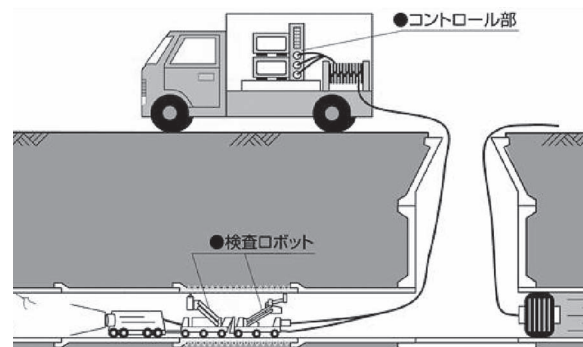


図-3 衝撃弾性波検査の概要図

などの測定・分析技術が使われます。

また老朽化の調査診断技術は、特集のもう1つのパートのライフラインの維持管理の「更生・改築の非開削技術」と関連しますが、老朽化の調査診断では超音波、衝撃弾性波などを使用した材料の劣化診断や管厚測定などが行われます。これらは「地下埋設管内からの調査探査の技術」となります(図-3)。

第2クールでの「調査探査の非開削技術」を大まかにまとめると以上のようになるかと思えます。それらの技術での問題点や技術的な課題について、情報なりご意見を伺えればと思えます。

調査探査技術 ～こんな技術あったらいいな～

黒岩：59号に、東京都下水道局の中里管路管理課長からご投稿頂いた「下水道における管内からの調査探査技術～こんな技術があったらいいな～」という論文があり、発注者サイドのニーズ、要望や課題が述べられています。東京では下水道の劣化に伴う道路陥没や臭気問題などの新たな課題が発生していることと道路陥没に対応できる取付管空洞探査機が開発中であることが紹介されています(図-4)。(この探査機はその後、実用化されています。)また、探査の課題として周辺の金属の影響を受ける、調査範囲が狭い、ならびに材質の特定ができないなどが上げられています。さらにいろんな情報がすぐに取り出せるマッピングやデータベースを整備できたらという要望も述べられています。

森田：探知する相手が地上あるいは媒体の材質が均一な水中では、軍事技術の発達背景もあるのか、レーダー、ソナーなどによって比較的判定が容易で、測定器も民生用として、例えば魚群探知機など高性能な製品が身近に利用可能だと思うのですが、相手が様々な物性値の物が混在する地中にある場合には、位置の検知にしても、管路の材質の判定にしても、検知や判定が難しいようですね。

今川：わたくし10年ほど前ですが、更生工法のひと

つであるSPR工法の開発に従事してしまして、その際に、SPR工法の命でもあります、裏込めモルタルの充填状況確認用として電磁波が利用できないか考え、米軍事レーダー技術を流用した計測機器を使い研究したのですが、結局、空洞の有無が分かる程度しか計測できなかったという苦い経験があります。モルタルという、ミクロに見ると均一ではない材質では、電磁波の有効活用が非常に困難であるという認識を持っているのですが、それからかなりの年月が経過した現在でも、飛躍的な進歩はまだのようです。

黒岩：地上からのレーダー探査は地中からの反射波を分析していますので低周波成分の多いデータになりやすく精度の面で十分でない場合があります。また、コンクリート舗装内の鉄筋の太さや間隔にも寄りますが、特定の調査機を使えばその下の探査ができる場合がありますので、状況に応じて使い分けていく必要があります。

もう一つは担当する技術者の熟練度によって解析結果の解釈が違ってくるケースがあるため、非開削の調査探査技術が普及していかない原因の一つがあるように思いますので、熟練技術者を育成していく努力が必要です。また、発注者に対して探査・調査の方法と結果の説明が十分でない場合があります、結果として非開削の調査探査技術への理解不足に繋がっているようにも思われます。

他分野での最近の探査技術

黒岩：最近ニュース報道された探査関連のトピックスでは、宇宙航空研究開発機構(JAXA)が打ち上げた月探査衛星「かぐや(SELENE)」の話があります。皆さんもテレビや新聞でご覧になったと思いますが、月の裏側の観測や地球の入り、出を撮影した外に、月表面と約100kmの一定の距離を保ちながら飛行し、月面の立体地形解析(ステレオカメラによる画像処理)、磁気探査、マルチイメージング(周波数の異なる画像撮影)による鉱物探査など科学の力を遺憾なく発揮しています。クレータの中央高地には地下の鉱物

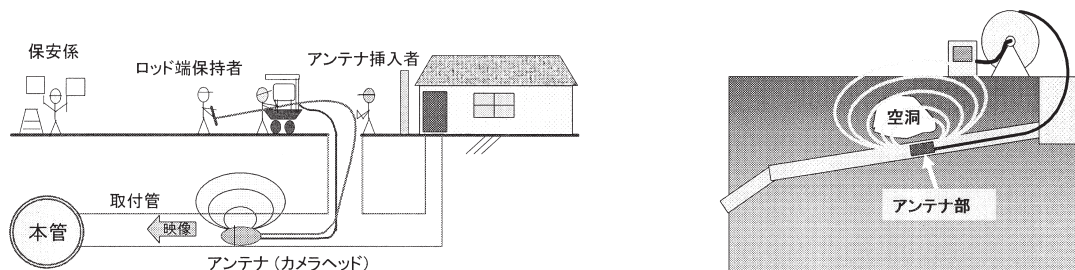


図-4 探査方法

が持ち上げられている可能性があり、月の表面だけでなく、地下探査もこのような特殊な地形を利用して実施する予定もあるようです。

また、医療分野では、脳ドックで3D的に脳内の血管の細部まで見て脳梗塞の原因となる部分が視覚的に分かり事前治療ができる時代になってきており、飲むカメラとして「胃カメラ」のコードレス化技術も開発されつつあります。飲むカメラの開発課題としては、調査希望のところに誘導できないことやバッテリーの容量不足（作業時間の制約）などがあるようです。

地下探査はどうして難しい？

黒岩：よく比較されるこれらの調査は、遠く離れた月の表面や人体内部で、その結果は高精度で3D化も可能であるのに、なぜ土木の分野では数m先がわからないのかということです。

これらのトピックスと我々が対象としている地中埋設物探査との違いをわかりやすく言うと月は真空中で空気の影響がなく数百kmを一望できたり、人体はほとんど水に近いので伝播しやすかったりするのだということです。

国内では地下1～2mしか探査できない地下レーダー探査機も、土と水に分けることができれば、同じ地下レーダー調査機でも砂漠にある遺跡調査では水が無いために数mまで探査できる場合があります。

森田：地中探査の場合に熟練解析技術者が不足していることや、他の分野では探査や検知する技術が非常に進んでいるというお話がありました。我々が携わっている地下ライフラインの調査・探査でも、技術の進歩やデータの蓄積などによって、将来は簡単に誰でも調査結果から位置や大きさ、材質などが判断できるような時代が来るのでしょうか？

今川：データベースの構築が一番大事なポイントだと思います。様々な条件での計測結果を、条件に分けて、キッチリとデータベース化し、情報の蓄積を行うことによって、位置、大きさなどが判別できるようになると思います。ただ、所詮、一企業が粛々とやっている程度では、かなりの時間が掛かってしまうのではないのでしょうか。

探査技術は技術開発とデータの積重ね

森田：先ほどの月面探査や医療分野の技術は、昨日今日に実現されたものではなく、長年の技術開発や苦勞、



黒岩 正信氏

データの積重ねがあって実現されたものと思います。

一方、地下ライフラインについては近年になって老朽化の問題が出てきたり、その判定のための調査の必要性が叫ばれるようになりましたが、その歴史としてはまだまだ浅いような気がします。今ようやくスポットが当たってきたように思います。要素技術は周りにずいぶんあるような気がしますが、その応用や組み合わせはこれからだと思います。

コンピュータや電子技術の発展でブレイクスルー！

黒岩：月探査の事例でも、コンピュータ技術、通信技術の発展によって可能となったものがあると思います。先程、熟練技術者の必要性の話をしました。たとえば、地下レーダー探査のデータをコンピュータが自動判別するような支援技術は実用化され、初心者でも利用しやすい調査機も出てきています。また、59号に掲載されました（曲がり部の多い配管調査用カメラ）は、電子デバイス（センサー）の小型化と組み込みコンピュータの高速化が背景にあり、今の時代だからできたカメラと言えます（写真-3）。従って、ソフ

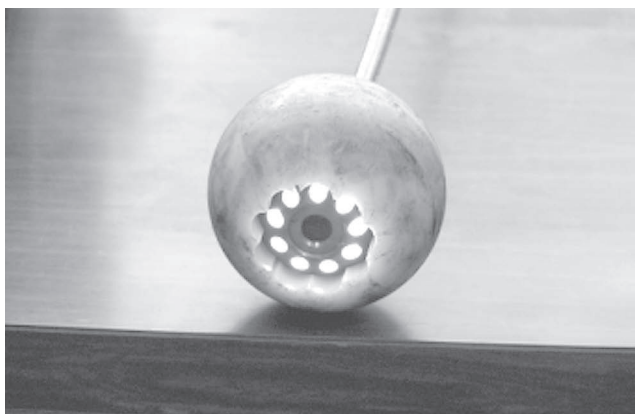


写真-3 アイピットのカメラヘッド（φ80mmカバー付）

トとハードの発展によって、今では難しいと思われている課題の中から解決されるものが時代とともに出てくるのではと考えています。当然、一定の費用の範囲で実現することが必要なものというまでもありません。

森田：今、開発にかかるお金の話が出ましたが、例えば軍事分野での探査技術などは国の命運に係っているわけですから費用のかけ方も違うでしょうし、医療分野にしても人間の生命にかかわるわけで、またその技術開発の成否によってビジネス市場として大きなものがあると思います。このような分野での技術は進歩が非常に速いですよね。先ほどの話の「飲む胃カメラ」などちょっと前には考えられなかったものです。

一方、地下ライフラインの分野では調査・探査が単独で発注されているケースはたぶんそう多くはないような気がします。管更生、改築の前段階で工法選定や施工範囲の調査のために設計段階で行われるのが多いのではないかと思います。お金のかけ方も、その範囲内のことだと思います。ですから、それに見合う程度の技術しか投入できないのではないかとも思います。が……。

初期の下水道管の老朽化、劣化が問題になっていますが、このまま放置すると再構築しなければならない管路の量がある時に一気に増大してしまう事態になると思いますが、そのあたりの認識が高まれば、全てを一時に再構築するだけの予算はないので、どこから優先して再構築しなければならないか？という時に、調査、探査にある程度費用をかけても全体としては予算節減になる、といったことになるのではないのでしょうか。

そのあたりについては、ご意見はいかがでしょうか？

下水道のライフサイクルコスト

黒岩：下水道の老朽劣化に伴う道路陥没が年間数千件発生していることが公表されていますが、各自治体に分散すると件数は小さくなり、設備を管理している自治体の方々の危機感はまだ小さいのではないかと思います。欧米では、工事に伴うガス管の損傷事故が年間9万～10万件発生しているという報告があり、これだけの数になるとさすがに対策を採ろうというプロジェクトができています。また、長期的に設備を運用していこうとすると建設当時の担当者は既に行かないという時代も近い将来来るとは思います。紙の資料は無くなる可能性があるため、電子化してデータベースを作る努力も必要だと思います。データベースをうまく活用することで、維持管理予算の平準化も実

現され、トータルとしてコスト縮減できることになるのだらうと考えます。

今川：やっと今になって、ライフラインに対する考え方が変化してきたということであり、パイプラインの老朽化にも、ついに目を向けられてきたというのが現状だと感じています。年間何千件もの陥没事故が発生しているという情報も、今まではオープンにはならないまま、補修されてきたのが、今、変わってきているのです。下水の分野においては、北海道北見市での痛ましいガス漏れ事故のような人の生死にかかわるような大事故が、たまたま無かっただけという認識に立って、安全・安心な社会生活を守るという点にポイントが置かれるようになったからこそ、危険の目を摘んでいくためには、どう対処すればいいのか？どんな技術があるのか？というところも議論の対象となり、例えば平成20年度の下水道事業予算のなかにも盛り込まれた、「下水道長寿命化支援制度の創設」という新規事項が明文化されたのだと思います。

【参考資料】

「下水道長寿命化支援制度の創設」

1. 背景・目的

下水道の整備が進み、現在、管路延長は約39万km、処理施設は2000箇所にのぼる。施設ストックの増大に伴い、老朽化に起因した道路陥没も増加傾向にあり、H18年度では4400箇所にのぼる。道路陥没後の老朽管路の改築といった事後的な対応では、市民生活に大きな支障が出るだけでなく、コスト的にも不経済となる。これを踏まえ、日常生活や社会活動に影響を及ぼす事故発生や機能停止を未然に防止するため、限られた財源の中で、ライフサイクルコスト最小化の観点を踏まえ、耐震化等の機能向上も考慮した、長寿命化対策を含めた計画的な改築を推進するもの。

2. 概要

ライフサイクルコストの最小化を目的とした長寿命化計画（対策内容、対策時期など）の策定に要する経費を補助対象とし、計画的な長寿命化対策を支援するもの。

3. 事業効果

増大する下水道ストックをライフサイクルコストの観点から適正に管理し、下水道機能の継続性が確保される。

今後に望まれる技術と展望

森田：皆さんから現状での技術の課題や不足している部分、開発費用のお話も出ましたが、そろそろ将来へ向けてどのような技術が今後必要なのか、などの話に移りたいと思います。このライフラインの調査探査の技術開発については、現在バラバラに進められている、まだまだ発展途上だからでしょうが、情報発信や情報交換する学界的なものや技術協会のようなものがないように思うのですが、いかがですか？

黒岩：日本非破壊検査協会とか調査探査の技術を検討

している協会はありますが、そのまま地下のライフラインに適用できるような技術を扱っているかということとちょっと違うかもしれません。

今川：調査・探査に使用する要素技術毎の学会，例えば超音波学会などはありますが，地下構造物の調査・探査に関する学会はまだ無いのではないのでしょうか？個々の企業が研究開発を進めている段階で，国の予算が付いて大々的に調査・探査の研究が飛躍的に進み，学会なども設置されるといふところまではいたっていないのではと思います。

特集で紹介したような技術について必要性を感じているのはまだ一部の人達だけで，日本全体を大きく動かし，影響を与えるといった意識まではまだこれからだと思います。それだけに，まだまだこれから技術も発展していく余地もあるのではないのでしょうか。

森田：必要性が出て，市場の規模も大きくなってくれば，この分野の情報交換できる団体も出てくるのではないのでしょうか。必要性についての啓蒙活動はJSTTの使命かもしれませんね。

さて，現在の技術でここが足りない，こんなことができたなら既存の技術がもっとよくなるのに，といったことについてはいかがでしょうか？例えばライフラインのマッピングの将来についてはどうでしょうか。

黒岩：折角地下レーダーなどを使って現場の現位置で調査した結果と道路台帳図面とのリンクができていなくて，調査報告書という形で保管されているところが多いのではと思います。また，GPSなどを入れて図面と自動的にリンクできる仕組みも必要だと思います。

森田：（助）道路管理センターでもマッピングの事業が進められていますね。

黒岩：道路管理システムは政令都市クラスしかないとこに課題があると思います。イギリスで取り組まれているようですが，インターネットを活用してどこでもアクセスできるようなオールJAPANの設備横断的管理システムができればいいなと思います。

今川：鋼管やPE管路などが使用されているガスの分野ではかなり進んでいるようですが，下水や水道の分野はまだまだ遅れていると思います。マッピングによる一元化した管理を行い，データベースのマッピング上に，管種，呼び径を始めとした様々な情報を盛り込んでいく運用をしていけば，利用価値のあるシステムを構築することが出来るでしょうし，また，その情報に追加として，経時的な管の劣化情報までも盛り込んだものが一番ベストなマッピングシステムだと思います。予測を立てて，優先順位を明確に，管路の維持管



今川 明氏

理を行うことが出来るようになるのです。

森田：58号に「地上からの空洞，ゆるみ調査手法の開発」と59号に管内からの「下水道取付管の空洞調査機」の技術紹介をしていますが，陥没事故の原因となっている地下の空洞調査についてはいかがでしょうか。

黒岩：空洞調査技術について，下水道で言うと取付管と本管直上の空洞探査のニーズがあります。

件数からは取付管の劣化に起因する空洞が多いようで，こちらに対応できる技術はカメラと電磁波レーダーの組み合わせで実用化されています。問題は本管直上のものですが，今川さんの話にもありましたが，ヒューム管の鉄筋が邪魔をして電磁波レーダーではうまくいきません。埋設深度が深いので，道路陥没が発生するとその影響も大きいためなんとかしてほしいという要望はいろんなところで聞いておりますが，有効な手法がないのが現状です。

森田：ライフラインの劣化やダメージの調査技術の将来についてはいかがですか？

今川：技術的な面からは，一般的にはまだまだTVカメラでの調査がほとんどであり，定性的な話ばかりで，定量的な判断が出来る技術が今後ますます要望されるのではと思います。

それが大事なんだという認識を普及していかなければと思います。

黒岩：カメラ調査についても画像を人が判断していますが，定量化して計測するような方向に変わっていくものと思います。ドイツのメーカーが作ったカメラシステムでは，調査データからコンピュータ処理して，管内を歩いて見て回れるような三次元のバーチャルリアリティ的な映像が提供されているものもありますので，夢物語ではなくなりつつあるのではと思います。この分野も最終的には，適正な費用で対応できるということが課題かもしれません（図-5，写真-4）。



森田 芳樹氏

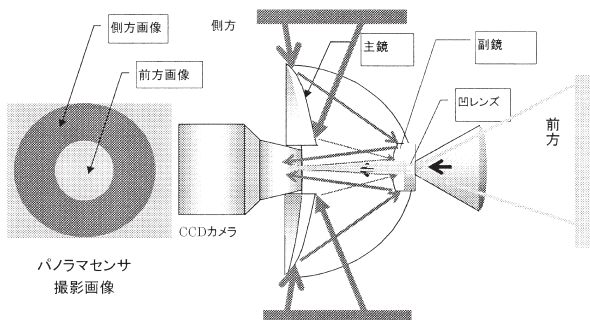


図-5 パノラマセンサの概略図

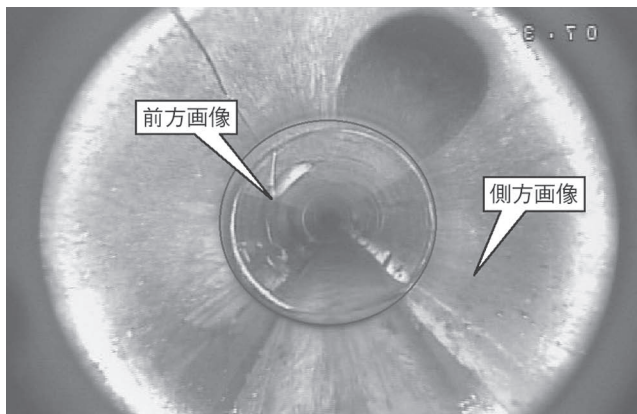


写真-4 パノラマセンサの撮影画像

また、医療分野では、PET（ポジトロン断層法）という生体の機能を観察する検査法があり、癌の診断に利用されるようになってきました。これもコンピュータの発達により実現された技術のようで、我々の分野ではダメージ調査に該当するものだと思います。

調査探査への積極的な予算付けが必要

森田：今までのお話の中で、様々な要素の技術があつて、よりよい調査探査の技術に発展する可能性はあるのですが、それを後押しするニーズの高まり、あるいは調査探査への積極的な予算付け、などが必要なのではと思います。そのことについてはいかがでしょうか。

今川：森田さんが言われるように、調査探査の技術に発展する可能性はあるのですから、それを後押しするニーズの高まり、調査探査への積極的な予算付けが大切なんだということを、発注者側、管理者側の方々にも再認識いただきたいというのが先ず第一です。それが技術開発が進化していくアクセルになるのです。

黒岩：道路陥没事故などが多発して初めて重要性が認識されるというようなところがあり、一過性の対応で終わっているようにも思いますので、ライフサイクルコスト的考え方を入れて、予防保全的に長期的な点検サイクルを決めるなど、計画性が必要な時代ではないでしょうか。

また、調査探査費用の低減のために調査機器の低価格化の努力をする必要がありますが、他の要素として、熟練技術者が特定のエリアにしか居ない現実があります。例えば、東名阪に技術者が集中しているとすると、北海道や九州で調査ニーズが発生すると、技術者が移動して対応することになります。それぞれのエリアに技術者がいて日帰りで調査するという状態が理想ですね。

今川：管路自体は年々劣化が進んでいく一方ですし、そのライフラインの重要性について近年やっと陽が当たってきて、更生に関してもやっと表舞台に出て来たという現状です。建設の時代から維持管理の時代だと言われる中で、先ず着目しなくてはならないのが、実際に埋設されている管路の状況を知ること、これが先ず大事なんだということを認識する必要があると思いますし、自治体等にも後押しをいただきたいと感じています。このような社会全体の流れが変わってきたからこそ、「長寿命化支援」という文言も記載されるようになったんだと思いますし、国の補助がつくということが、研究開発する企業にも弾みがつきそれに伴って技術的にも進化すると思います。

私共としても、衝撃弾性波による定量的な管路調査の精度を更に高め、最終的な目標としては、管路の一本毎の寿命を予測できるレベルにまで進化させていきたいと考えています。

森田：どうもありがとうございました。最後にご紹介いただいた「下水道長寿命化支援制度」によって、現在までは予算不足などでとくなくおざりにされがちであった調査探査技術の開発や実施に弾みがつくのではないかと期待したいと思います。

これにて、特集第2クールから見えるもの、Part2「調査探査の非開削技術」について座談会を終わります。皆様、ありがとうございました。