

レーダー探査等を活用した地下埋設物モデルの整備実証 技術検証レポート

Technical Report on the Underground Infrastructure Model Development Using Ground-Penetrating Radar

series
No. 133

目次

1. 整備実証の概要.....	- 1 -
1-1. 現状と課題.....	- 1 -
1-1-1. 社会的背景	- 1 -
1-1-2. 3D 都市モデル（地下埋設物）の整備の現状.....	- 3 -
1-1-3. 課題認識	- 5 -
1-2. 課題解決のアプローチ	- 6 -
1-3. 整備実証箇所の選定	- 7 -
2. レーダー探査等を活用した地下埋設物モデルの精度検証	- 11 -
2-1. 目的	- 11 -
2-2. 方法	- 11 -
2-3. 内容	- 11 -
2-3-1. 台帳図・GIS データの収集	- 11 -
2-3-2. 台帳図・GIS データを用いた 3DCAD モデル（地下埋設物）の作成	- 12 -
2-3-3. 地中レーダー探査結果を活用した 3DCAD モデル（地下埋設物）の作成	- 13 -
2-3-4. 試掘結果との精度検証	- 22 -
2-4. 検証結果	- 33 -
2-4-1. 台帳図・GIS データを用いた 3DCAD モデル（地下埋設物）の精度検証結果	- 33 -
2-4-2. 地中レーダー探査結果を活用した 3DCAD モデル（地下埋設物）の精度検証結果	- 36 -
2-4-3. 精度検証結果の分析	- 39 -
3. レーダー探査等を活用した地下埋設物モデルの整備実証	- 44 -
3-1. 目的	- 44 -
3-2. 方法	- 44 -
3-3. 内容	- 45 -
3-3-1. 3D 都市モデル（交通（道路）、都市設備、植生）の整備	- 45 -
3-3-2. 3D 都市モデル（地下埋設物）の整備	- 49 -
3-3-3. 地下埋設物の埋設深さと位置の整合性評価	- 56 -
3-3-4. 3D 都市モデル（地下埋設物）整備手順の従来手法との比較	- 62 -
4. 地下埋設物データの保持・利用・共有の在り方に関する調査	- 69 -
4-1. 目的	- 69 -
4-2. 方法	- 69 -
4-3. 内容	- 70 -
4-3-1. アンケート調査の実施	- 70 -
4-3-2. アンケート調査回答の集計・分析	- 71 -
4-4. 調査結果	- 71 -
4-4-1. 集計結果	- 71 -
4-4-2. 分析結果	- 76 -

5. 成果と課題、今後の展望	- 78 -
5-1. 本実証の成果	- 78 -
5-2. 課題と対応策	- 79 -
5-3. 今後の展望.....	- 80 -
6. 用語集.....	- 82 -

1. 整備実証の概要

1-1. 現状と課題

1-1-1. 社会的背景

近年、激甚化する自然災害によるライフラインの被害や、老朽化した地下インフラに起因する事故が多発しており、地下埋設物の適切な管理と情報の整備は、都市の安全性、強靱性、持続可能性の確保における喫緊の課題となっている。

令和 6 年 1 月 1 日に発生した能登半島地震では、ライフラインである上水道、下水道等の地下埋設管路が被災し、特に耐震化や液状化対策が進んでいなかった管路及び構造物において甚大な被害が発生した。ライフラインの復旧は被災地住民の生活再建の最優先事項であったが、珠洲市や輪島市では復旧までに約 5 か月を要した。被災箇所が多さ、地形的要因、交通アクセスの困難さ等が主要因と考えられるが、現地への派遣活動を行った支援機関は、復旧の阻害要因の 1 つとして、台帳情報の位置精度と現地の不一致、情報の非デジタル化による課題等も挙げている。

【課題点】

- 上水道復旧支援活動の報告では、「既設管の埋設位置が不明確なことから、既設管を修理するのではなく、新しく仮設管を地上に敷設することで復旧」、「既設管の埋設位置が不明確であり、漏出箇所を特定することが困難であったため、既設管の修理を断念」¹といった記述も確認できる
- 上水道復旧に関する教訓や対応策等を取りまとめた資料では、「水道施設の既存の管網図と実際の敷設状況に不整合があったことを踏まえ、災害時に正確な管路の埋設位置を把握するためにも、平時からの台帳整備、適切な情報更新が必要」²との記述がある
- 下水道復旧に関する報告では、「台帳図が紙媒体のケースでは、図面の字が不鮮明であったことや悪天候下での調査時に破損するなどし、作業に支障が生じた」、「非デジタル化情報で管理されていたため、調査記録表にゼロから諸元等を入力する必要があり、調査結果の整理に膨大な時間が必要となった」³と記述がある

¹ 公益社団法人全国上下水道コンサルタント協会、水坤 2024 Vol.68 「震災再来～被災地を支える活動～」、令和 6 年 7 月

<https://www.suikon.or.jp/activity/publishing/suikon/068/images/000.pdf>

² 日本水道協会、地震等緊急時対応の手引き改訂特別調査委員会中間報告取りまとめ、令和 6 年 12 月
http://www.jwwa.or.jp/upfile/upload_file_20250106001.pdf

³ 国土交通省、第 1 回下水道 B C P 策定マニュアル改訂検討委員会【令和 7 年 3 月 19 日】会議資料、長野県環境部水道・生活配水課「能登半島地震における下水道施設の復旧対応状況と課題」
<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/content/001894436.pdf>

また、令和 7 年 1 月 28 日に埼玉県八潮市で発生した道路陥没事故においては、人命救助や復旧工事が長期化し、地下の複雑な状況を把握して安全かつ迅速に対応することの困難さが浮き彫りとなった。「陥没事故現場の路面下には、流域下水道の管路のほかにもガス、通信、上水道、下水道など多種多様な地下インフラが輻輳して埋設されており、平素から地下インフラ情報を正確に把握し、事故発生当初から迅速に共有する体制構築の重要性が改めて認識された。」⁴

下水道等に起因する大規模な道路陥没事故を踏まえた対策検討委員会（第 2 次提言）では、今後の対策のあり方として、「道路管理者と道路占有者の連帯により、道路下に埋設されている下水道、水道、電気、ガス等の占有物の設置状況（位置、構造、材質など）、敷設年度、点検結果や補修状況などの他、路面下空洞調査の結果や道路陥没履歴などの情報をデジタル化した上で統合化する仕組み（データベース、管理体制・組織等を含め）を検討すべき。」⁵と記載された。

さらに、社会資本整備審議会道路分科会第 86 回基本政策部会では、「道路地下空間を取り巻く現状と課題」について議論され、地下埋設物の管理の現状と課題として、「道路や占有物情報の一元化、デジタル化、見える化」、「地下施設の正確な位置情報等の把握」、「占有者との連携、情報共有の不足」、「占有物の適切な管理（メンテナンスサイクルの実現）」が挙げられた。また、関連する進行中の取り組みとして、「全国統一型の占有システムの整備」、「道路空間情報の見える化」、「地下占有物連絡会議の設置」、「占有者から占有物の安全性や点検結果等を報告」が記載されている。⁶

⁴ 埼玉県、埼玉県八潮市道路陥没事故に対する財政支援等に係る要望、令和 7 年 11 月 26 日

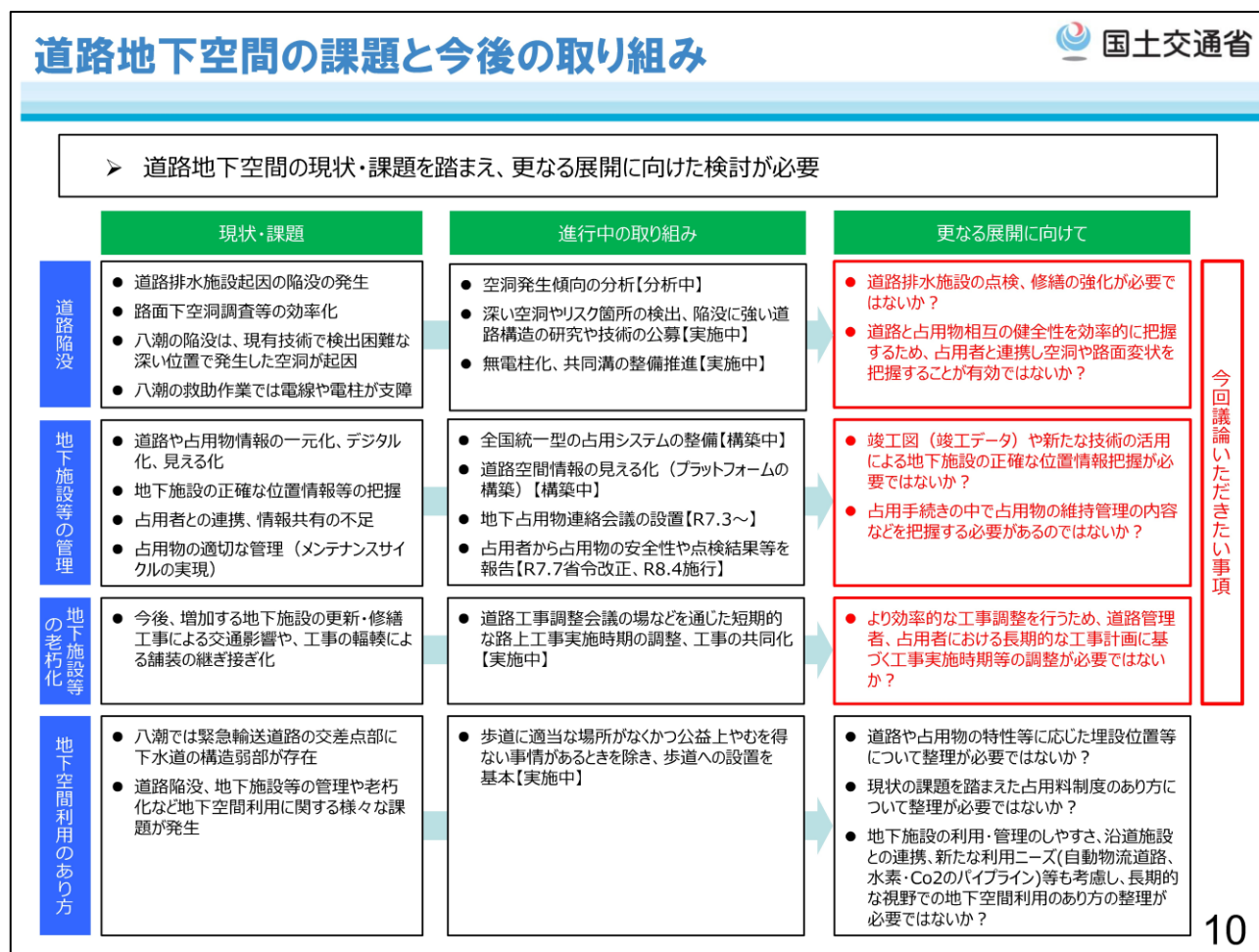
<https://www.pref.saitama.lg.jp/documents/275179/zaimusyo1126.pdf>

⁵ 国土交通省、下水道等に起因する大規模な道路陥没事故を踏まえた対策検討委員会（第 2 次提言）

<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/content/001891084.pdf>

⁶ 国土交通省、社会資本整備審議会道路分科会第 86 回基本政策部会配布資料「道路地下空間を取り巻く現状と課題」

<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001968083.pdf>

図 1-1 道路地下空間の課題と今後の取り組み⁶

1-1-2. 3D 都市モデル（地下埋設物）の整備の現状

ここで、3D 都市モデル（地下埋設物）の整備に関する現状の取り組みを整理する。ユースケース開発として、これまでに以下のプロジェクトが行われている。

1) 「地下埋設物データを活用した都市開発の DX 技術検証レポート」⁷

地下埋設物データを標準仕様に準拠した 3D 都市モデルとして整備し、BIM を含む設計データと統合して建設設計業務のデジタルトランスフォーメーション（DX）を実現することを目的とした実証業務である。

地下埋設物情報は、クレンジング、属性付与、位置補正を経て 3D 地下埋設物モデルとして整備され、CesiumJS を用いた 3D 表示・計測を行い、OBJ、CityGML、3DTiles 等のデータ形式へ変換・出力している。さらに、整備した地下埋設物モデルを NTT インフラネットの立会受付 Web システムへ統合し、影響判定・協議支援機能

⁷ 国土交通省、地下埋設物データを活用した都市開発の DX 技術検証レポート、令和 6 年 3 月

https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0074_ver01.pdf

を提供している。

実証エリアは、大手町・丸の内・有楽町エリア（約 1.21km²）と品川港南口エリア（約 1.09km²）の計 2.3km²を対象に実施している。

主な成果としては、位置基準の高精度化を促進する標準化手法の確立、3D 表示・計測・ダウンロードを統合した建設設計支援システムの実装、地下埋設物と計画構造物の離隔検知を 3D で実施することで、協議支援機能の有効性を示し、合意形成の迅速化と設計現場の理解度向上を実証した点を挙げている。

今後の課題として、データ仕様の統一・更新頻度・座標系の整合性といった運用課題、データ保護・アクセス管理といったセキュリティ上の懸念、全国展開に向けた組織体制・教育訓練・データ更新の自動化等を挙げている。

また、本レポートから、地下埋設物の位置情報の精度に関する課題を読み取ることができる。

実証業務で開発した協議支援機能に関するアンケートを行っており、「地下構造物計画の検討精度の向上は期待できるか」という問いに対して、「データの精度等は課題」、「データの信頼性、精度がどの程度であるかが気になる」等のコメントがあり、これらの意見をまとめて、「地下埋設物モデルの品質、信頼性を確保することが重要である」と整理している。

また、「地下構造物計画案変更等の手戻り作業が起りにくい効果はあるか」という問いに対して、「実際に掘削したところ、図面と埋設位置の差異があったり、不明構造物が確認されたりという話があるので、随時、変更は生じると思われる」、「地下埋設物モデルの精度が低いと逆に手戻りが増えるリスクは考えられる」というコメントがあり、これらの意見をまとめて、「地下埋設物モデルの拡充、精度等のモデルの信頼性の確保が今後の課題となる」と整理している。

2) 「地下埋設物データを活用した都市開発の DX v2.0 技術検証レポート」⁸

地下埋設物データを標準仕様の 3D 都市モデルへ整理・統合し、BIM を含む設計データと連携させて都市開発の DX を推進することを目的とし、現状の課題認識として、地下埋設物データの標準化不足と点検・更新記録の紙ベース管理を設定し、これを解決するべく「地下埋設物 3 次元計測ツール」「地下埋設物モデル化支援ツール」「施工管理・点検 DX 支援ツール」を開発している。ツールの内容を以下に記す。

「現場では、地下埋設物の管路形状を 3 次元点群データとして計測するツールを用い、スマートフォン等の LiDAR と SfM を組み合わせて高精度なデジタル記録を生成し、3D 都市モデル（地下埋設物モデル）へ半自動更新を実現する。これらのデータは CityGML・3D Tiles・GeoJSON 等へ展開され、スマートインフラプラットフォームを介してデータベースへ反映される。一方、地下埋設物データの中心線を自動生成するモデル化支援ツールを用い、管路中心線を抽出・更新することで、従来の手作業の負担を軽減する。点検 DX 支援ツールは、点検結果を現場でデジタル記録し、3D 都市モデルと結びつけて管理する役割を果たす。」

これら 3 つのツールは、現場で取得した 3 次元点群データから中心線データを生成・更新し、更新用の 3D 都市モデルを CityGML（LOD2 相当）として出力、GeoJSON 等の形式で連携する設計となっている。

実証対象エリアは日本橋 0.37km²、名古屋 0.61km²、大阪 0.87km² の計 1.85km² で、点群データ取得・中心線抽出・3D 表示・データ連携の一連のフローを検証している。Nebula フレームワークによる配管のセグメンテ

⁸ 国土交通省、地下埋設物データを活用した都市開発の DX v2.0 技術検証レポート、令和 7 年 3 月

https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_tech_doc_0111_ver01.pdf

ーションと、非線形回帰（カーネルリッジ回帰）による中心線推定を組み合わせる手法を適用して、現場データのデジタル化と 3D モデル更新の負担軽減と更新品質の維持を検証する一方、データ標準化の遅れや座標系の整合、全国展開に向けた組織体制・教育訓練・セキュリティ等の課題も併せて指摘している。

今後は標準化の推進と社会実装の加速、横展開を進める方針であり、標準化の進捗と社会実装状況を踏まえた組織体制整備・教育訓練・セキュリティ対策の整備を進めていくとしている。

1-1-3. 課題認識

これまでに、地下埋設物を 3D 都市モデル上で表現する際の位置基準の高精度化を促進する標準化手法の確立や、3D 都市モデルを円滑に整備するためのツール開発、施工記録や点検結果を 3D 都市モデルと連携するツール開発等が取り組まれてきた。①の実証業務において、既存の埋設物の位置情報に関する課題が認識され、②の実証業務で施工時に正確な埋設管の情報を記録し、3D 都市モデルと連携する取り組みにつながっている。一方で、地下埋設物管理においては、これらの実証業務での課題認識や、能登半島地震や八潮市道路陥没事故で露呈したように、管理している埋設物の位置情報の精度が問題となることが多い。

埋設物の位置情報の課題に関連する既往研究において、電線共同溝工事における埋設物起因リスクを明らかにすることを目的としたアンケート調査が行われている。調査結果によると、施工時に「占有企業者からの台帳」を入手・活用した案件は 86.4%あるものの、「占有企業者からの台帳」を活用しながら 47.1%で追加作業・手待ち（追加の試掘、修正設計、既設管の支障協議、支障物の撤去工等）の発生といった地下埋設物の影響を受けている。さらに、その地下埋設物の影響を受けた工事の 91.7%の工事で工程遅延が発生している。また、同アンケート調査結果では、工事で発生した追加作業・手待ちの要因を整理しており、「台帳と異なる位置に既設管埋設」、「台帳に記載のない埋設管が露出」、「基礎等の残置物が露出」といった「埋設物情報の不確実性」に関する要因が、ほぼ全ての追加作業・手待ちにおいて 50%を超えている。工事中に追加的に発生する支障物の撤去工では、これらの要因が 90%近くを占めている。⁹

「埋設物情報の不確実性」によって工事事故も発生しており、日本建設業連合会がまとめている令和 6 年度の地下埋設物事故の発生状況によると、事故原因として「埋設物位置と図面とで相違あり」が 14%、「台帳に記載なし」が 11%、「浅層埋設であった」が 6%であり、既設埋設物の位置情報に関連する事故が原因の 3 割を占めている。¹⁰

また、読売新聞社が国土交通省から入手したデータ等をもとに分析した記事によると、「全国の国道で平成 27 年度から令和 6 年度の 10 年間に発生した陥没・空洞のうち、所有者・用途が不明だったり放置されたりした管路などの「地下残置物」によるものが少なくとも 69 件あり、埋設物情報の不確実性が道路陥没などの社会

⁹ 澤井、大庭、「電線共同溝事業における埋設物情報のフロントローディングによるコスト縮減に関する研究」総研リポート Vo.24、一般財団法人建設物価調査会、令和 7 年 12 月
https://www.kensetu-bukka.or.jp/wp-content/themes/custom/pdf/business/souken/shisu/souken_report_24/report_024.pdf

¹⁰ 日本建設業連合会、2024 年中における建設工事に伴う 地下埋設物・架空線事故の発生状況
https://www.nikkenren.com/anzen/file_chika/chika_jiko2_2024.pdf

問題にもつながっている。」¹¹

そこで、本業務では、3D 都市モデル（地下埋設物）を都市開発やインフラ管理、災害対策等へ実装する際の、台帳図や GIS データを活用する際の課題を、「地下埋設物位置情報の正確性と再現性」と位置付けた。

1-2. 課題解決のアプローチ

上記で述べた埋設物管理の課題である「地下埋設物位置情報の正確性と再現性」を解決するための方法として、本業務では地中レーダー探査技術を活用する。地中レーダー探査は、マイクロ波を地中に照射し、電気的性質の異なる物質の境界面で反射が起こる原理を応用し、埋設物の存在や位置を非破壊で調べる技術である。金属製の管路だけでなく、コンクリート製や塩化ビニール製の管路等、材質を問わず検出が可能で、計測時の位置精度管理やデータ解析の検出精度管理によって、±10 cm程度の平均誤差で位置の特定が可能である。一方で、地中の水分や舗装構成等が探査精度に影響を与えるほか、対象物の上部に遮蔽物があると検出困難となる等、適用環境によっては上述の位置特定精度を下回ることや検出率の低下があり得る。

したがって、課題解決方法として地中レーダー探査技術の適用可能性を判断する上で、適用環境の違いによる位置特定精度の傾向について把握する必要があると考えた。そこで、地中レーダー探査への影響を確認するために、札幌市、広島市、福岡市の3都市を対象に検証を実施することとした。図 1-2 に業務フローを示す。

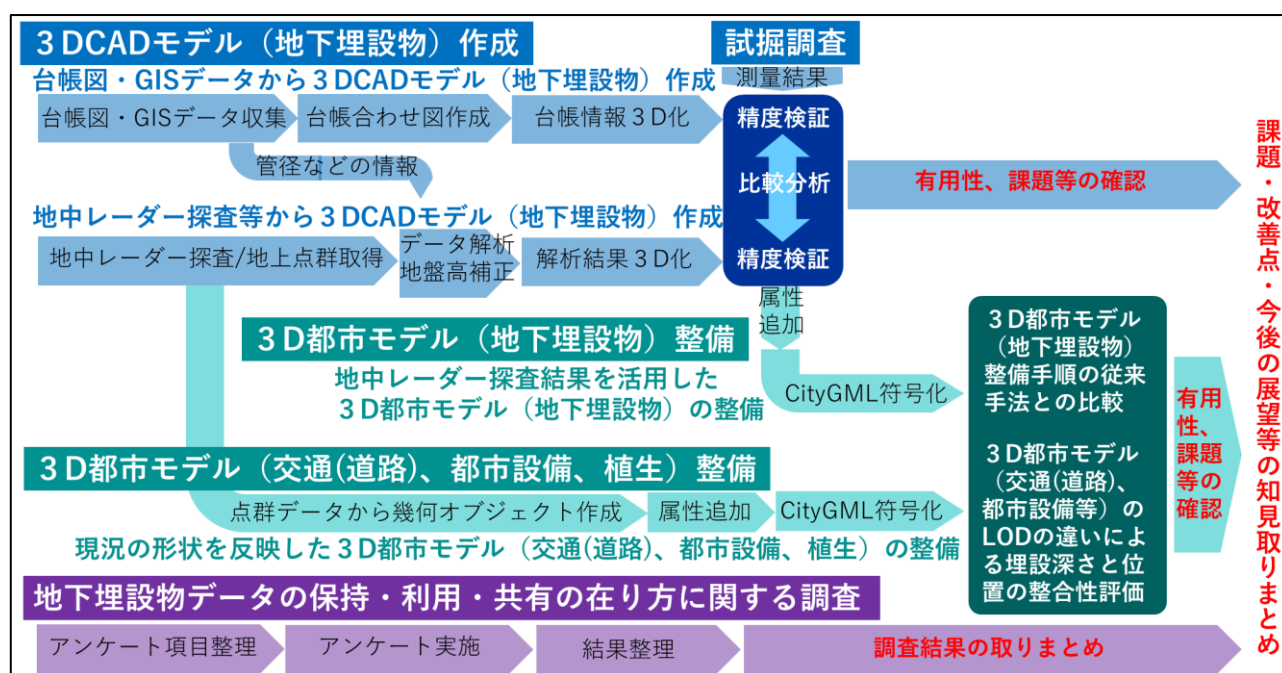


図 1-2 地中レーダー探査等を活用した 3D 都市モデル（地下埋設物）の整備実証フロー

¹¹ 読売新聞、「国道の陥没・空洞、「地下残置物」原因が69件…「隠れリスク」放置管など情報集約へ」、令和7年11月17日

<https://www.yomiuri.co.jp/national/20251116-OYT1T50097/>

本業務では、3D モデルを表す言葉として、「3DCAD モデル」と「3D 都市モデル」を用いている。「3DCAD モデル」は「XYZ の三次元座標で、三次元の形状を表すモデル」、「3D 都市モデル」は「都市スケールで 3DCAD モデルを CityGML 符号化したモデル」を表す。

精度検証の方法は、3 都市において台帳図や GIS データから 3DCAD モデル（地下埋設物）を作成する既存の手法と、地中レーダー探査結果を活用した 3DCAD モデル（地下埋設物）を作成する手法で、それぞれ 3DCAD モデルを作成した後、各都市 2 箇所です掘調査を実施し、露出した埋設管路の正確な位置情報と比較を行った。これにより、3D 都市モデル（地下埋設物）の基となる、台帳図や GIS データ、地中レーダー探査結果といった地下埋設物に関する情報源の位置精度の特徴を明らかにした。

また、地中レーダー探査結果を活用して 3D 都市モデル（地下埋設物）を整備するとともに、地上点群データから 3D 都市モデル（交通(道路)）等を整備し、LOD の違いによる埋設深さと位置の整合性を検証した。併せて、3D 都市モデル（地下埋設物）整備手順を従来手法と比較し、課題等について整理した。

上記の精度検証や整備実証のほか、3都市の占有企業者の協力を得て、地下埋設物データの保持・利用・共有の在り方に関するアンケート調査を実施し、埋設物管理における現状及び課題を把握した。

1-3. 整備実証箇所の選定

札幌市、広島市、福岡市の特定都市再生緊急整備地域で整備実証を行うに当たって、有益な検証を行うことができる場所を選定するために、図 1-3 に示す視点で適切な箇所の抽出を行った。

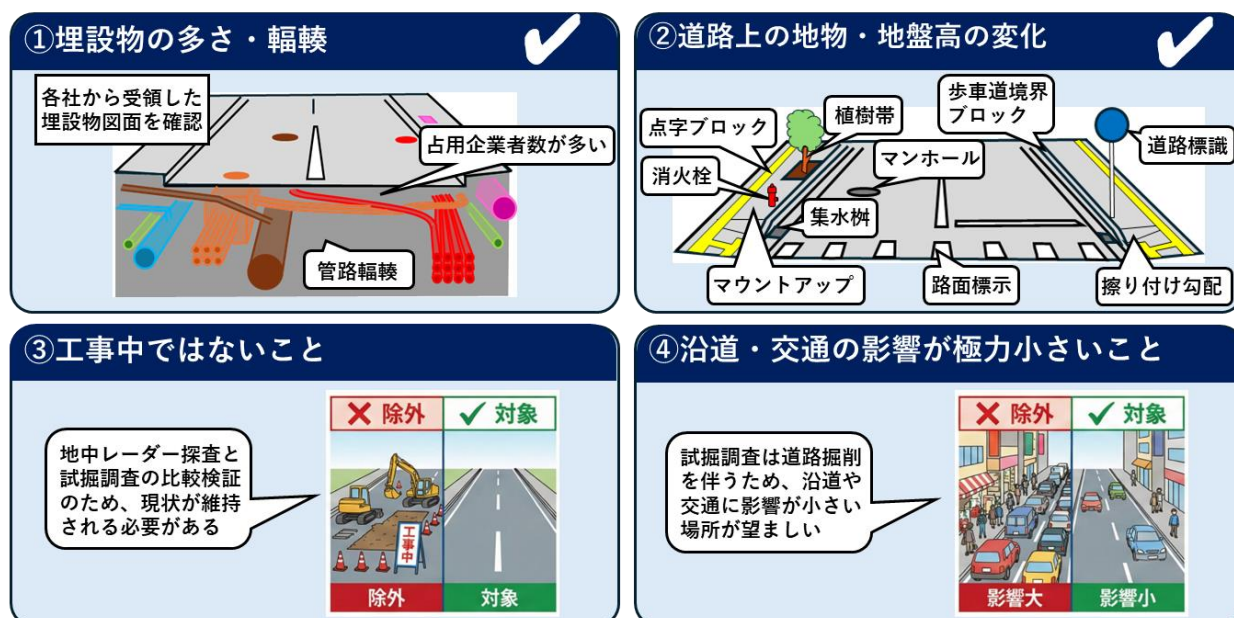


図 1-3 整備実証箇所の選定

1) 埋設物が多いこと、輻輳していること

一般財団法人道路管理センターが整備・運用している台帳合わせ図（複数の占有企業者の埋設管の位置情報が記載されている）や、各占有企業者が保有している台帳図等を収集した上で、埋設管の占有企業者数が多く、

管路も輻輳している可能性が高い箇所を抽出した。

2) 道路上に地物があり、路面に高低の変化があること

施工や維持管理における埋設管の平面位置特定は官民境界や道路上の特徴点からの離隔で行われることが多いことや、埋設深さは道路面を基準とした「土被り」で管理、確認されることが多い。そこで、現地情報を確認し、マンホールや消火栓等の道路占用物、歩車道境界ブロックや植樹帯、集水枳、道路標識等の道路付属物のほか、歩道のマウントアップや擦り付け勾配、取付道路接続部の巻込み部等の道路構造、路側線やレーンマーク等の路面標示が確認できる箇所を抽出した。

3) 再開発事業等の工事中ではないこと

本業務では地中レーダー探査を実施した後に試掘調査を行い、精度を比較検証する。業務期間中に道路上の形状や埋設管の情報が変更になると、比較検証に支障をきたすことから、沿道や道路において工事中の箇所は対象から除外した。

4) 沿道・交通の影響が極力小さいこと

現地作業のうち、試掘調査は掘削工や舗装工等の工事を伴うため、沿道の住民や店舗、通行する車両や歩行者に影響が大きい箇所は対象から除外した。

図 1-4～図 1-6 に整備実証箇所が含まれる各都市の特定都市再生緊急整備地域を示す。

地下埋設物の位置情報は秘匿性の高い情報であるため、本技術検証レポートでは整備実証を行った詳細箇所は明示しない。

札幌市：図 1-4 に示す地域から 1,000 m²程度の範囲を選定

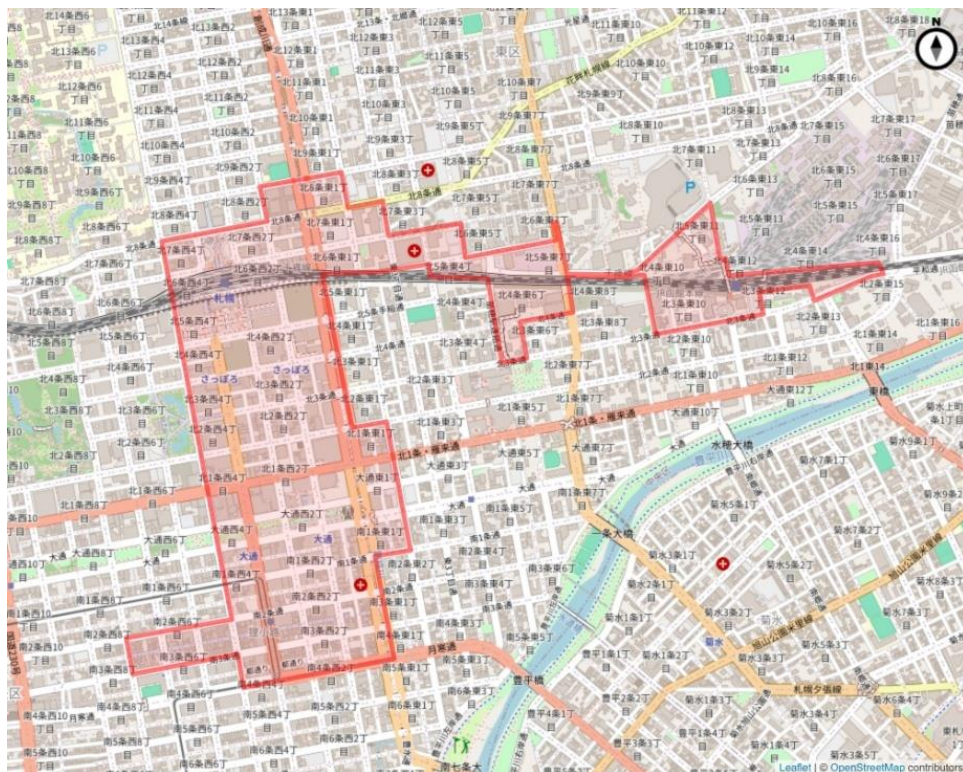


図 1-4 整備実証箇所を抽出した特定都市再生緊急整備地域「札幌都心地域」

広島市：図 1-5 に示す地域から 1,000 m²程度の範囲を選定



図 1-5 整備実証箇所を抽出した特定都市再生緊急整備地域「広島紙屋町・八丁堀地域」

福岡市：図 1-6 に示す地域から 1,000 m²程度の範囲を選定

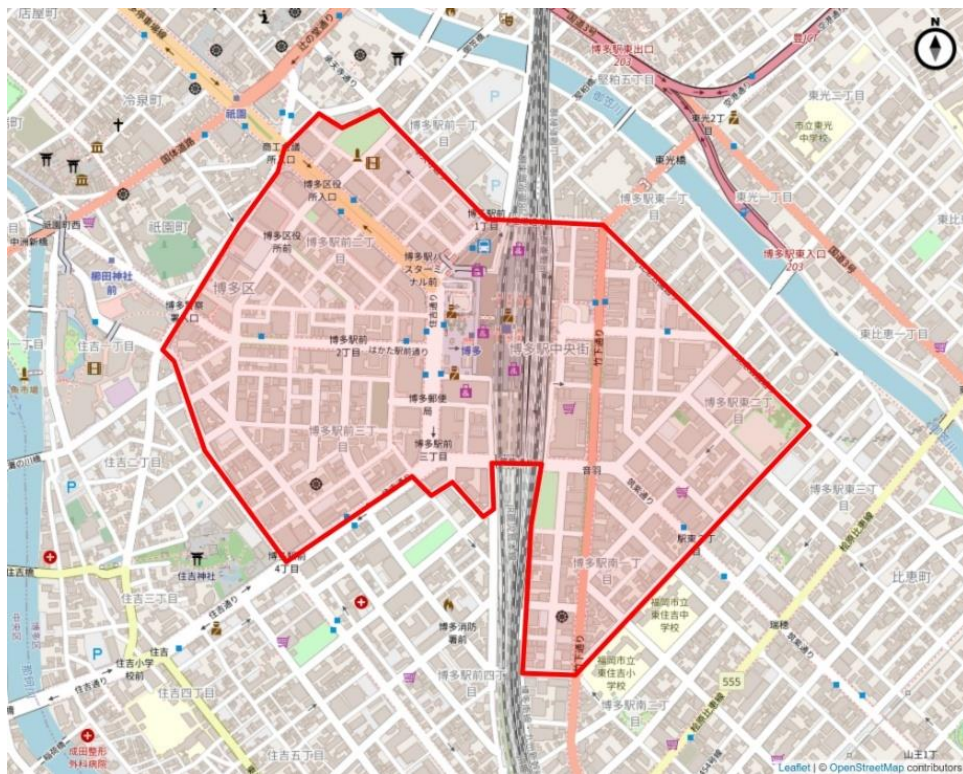


図 1-6 整備実証箇所を抽出した特定都市再生緊急整備地域「福岡都心地域（博多駅周辺地区）」

2. レーダー探査等を活用した地下埋設物モデルの精度検証

2-1. 目的

地中レーダー探査技術について、課題解決方法としての適用可能性を判断することを目的として、地中レーダー探査等を活用した 3DCAD モデル（地下埋設物）を作成し、位置特定精度の検証を実施した。

2-2. 方法

精度検証方法を図 2-1 に示す。台帳図や GIS データから 3DCAD モデル（地下埋設物）を作成する既存の手法と、地中レーダー探査等を活用した 3DCAD モデル（地下埋設物）を作成する手法で、それぞれ 3DCAD モデルを作成した後、試掘調査を実施し、露出した埋設管路の正確な位置情報と比較をすることで、地中レーダー探査の位置特定精度を検証した。地中レーダー探査への影響を検証するために、環境の異なる札幌市、広島市、福岡市の 3 都市を対象に実施した。

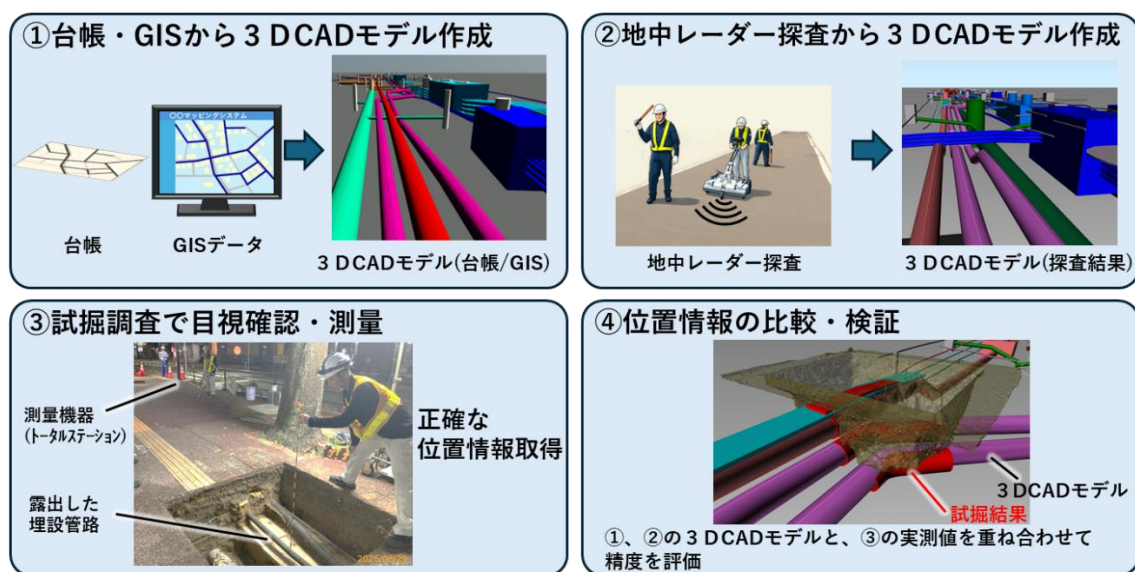


図 2-1 精度検証方法（イメージ図）

2-3. 内容

2-3-1. 台帳図・GIS データの収集

札幌市、広島市、福岡市の整備実証箇所において、上水道、下水道、ガス、通信、電力といった道路下に管路等を占有している企業者に本整備実証業務の目的を説明し、埋設物位置が記載されている提供可能な台帳図や GIS データの提供依頼を行った。

各占有企業者から受領できた台帳図・GIS データの形式及び図面の種類を表 2-1 に示す。

表 2-1 各占用企業者から受領した台帳図・GIS データ

都市	企業者	埋設物位置情報の形式	受領した図面の種類
札幌市	上水道	PDF	平面図、竣工図
	下水道	PDF、shape ファイル、属性情報	平面図
	ガス	PDF	平面図、竣工図
	通信	TIFF	平面図、縦断面図、展開図
	電力	PDF	平面図（一部で縦断面図、横断面図記載あり）
広島市	上水道	PDF、shape ファイル	平面図、竣工図
	下水道	WEB 公開データ（広島地図ナビ）	平面図
	ガス	PDF	平面図
	通信	PDF	平面図、縦断面図、展開図
	電力	PDF	平面図、縦断面図
福岡市	上水道	PDF	平面図、竣工図
	下水道	shape ファイル	平面図
	ガス	PDF	平面図
	通信	PDF	平面図
	電力	PDF	平面図、縦断面図

2-3-2. 台帳図・GIS データを用いた 3DCAD モデル（地下埋設物）の作成

試掘調査結果を用いた精度検証や、地中レーダー探査結果との比較を行うことから、地中レーダー探査結果を重畳する図面と同じ地形図に、収集した台帳図・GIS データの情報を集約することとした。ここで用いる地形図は三次元点群測量によって作成し、本業務実施時点の現況を反映した CAD 図面である。3DCAD モデル（地下埋設物）の作成は図 2-2 及び以下示す 1.～4.の手順で実施した。

1. 基盤とする地形図と台帳図の位置合わせ
 - 台帳図・GIS データの情報を集約するために、PDF や TIFF については CAD ファイルに取り込み、CAD 図面上の地形と各図面の地形が極力合致するように縮尺等を調整した
2. 管路等の線形トレース
 - 各図面に記載されている管路等の線形をトレースし、線形を表すポリラインを作成した。作成したポリラインは占用企業者別にレイヤへ整理した。Shape ファイルは CAD ファイルに変換し取り込んだ
3. 深度情報の反映
 - CAD ソフト上でポリラインに台帳図・GIS データで確認できる深度情報を与えて、三次元ポリラインを作成した
4. 3DCAD モデル（地下埋設物）の作成
 - CAD ファイル上の管路等を表す三次元ポリラインに、台帳図・GIS データで確認できる管径や条数

等の情報を与え、3DCAD モデル（地下埋設物）を作成した

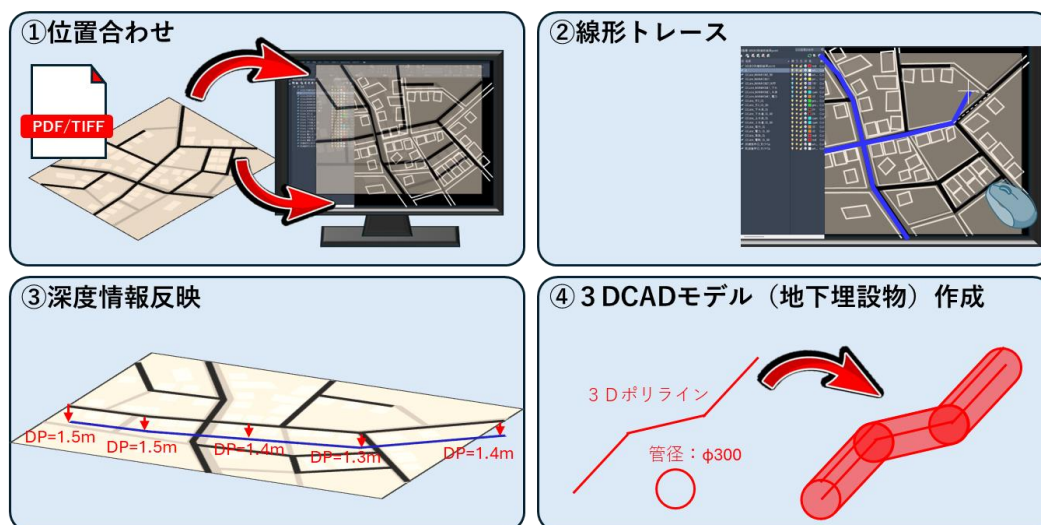


図 2-2 台帳図・GIS データを用いた 3DCAD モデル（地下埋設物）作成手順（イメージ図）

2-3-3. 地中レーダー探査結果を活用した 3DCAD モデル（地下埋設物）の作成

1) 適用技術

本業務で適用する地中レーダー探査技術は、NETIS（新技術情報提供システム）において活用効果が評価済みである「埋設管マッピングシステム」を選定した。当該技術は多配列地中レーダーを用いて対象範囲を面的にデータ取得・結合し、管種を問わず地下埋設物位置を三次元で捉えることができる。図 2-3 に埋設管マッピングシステムの概要を示す。

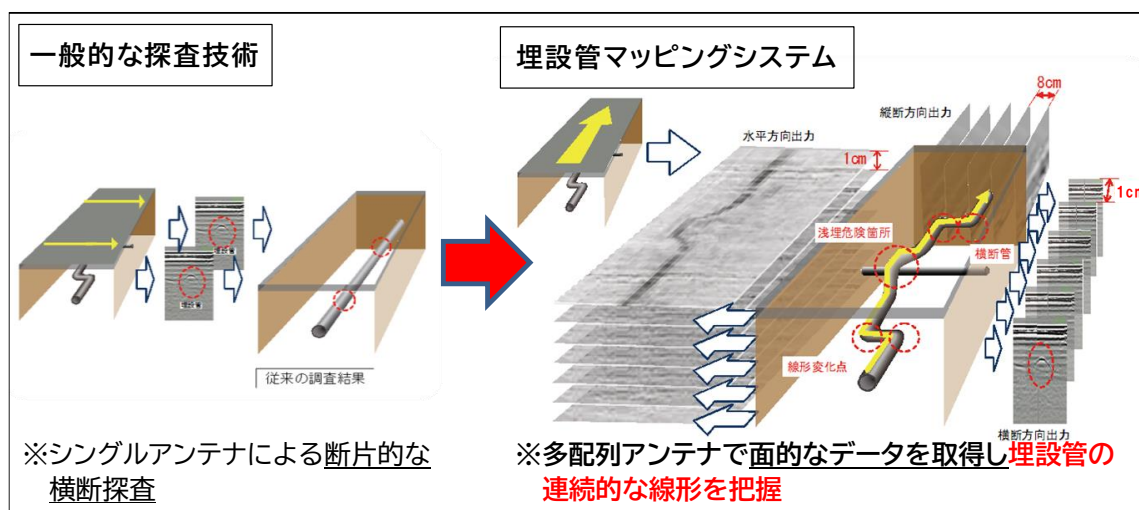


図 2-3 埋設管マッピングシステムの特徴

専用解析ソフト（図 2-4）を用いて、取得した複数のデータを結合し、三次元（平面・縦断・横断）で解析を行うことで、埋設管の連続的な線形を捉え、線形変化点（平面・深度）や上越し・下越し・離隔等を明確にし、

埋設状況を把握することが可能である。また、埋設管の材質を問わず検知でき、台帳図に未記載の残置管や不特定管等の検出も可能である。

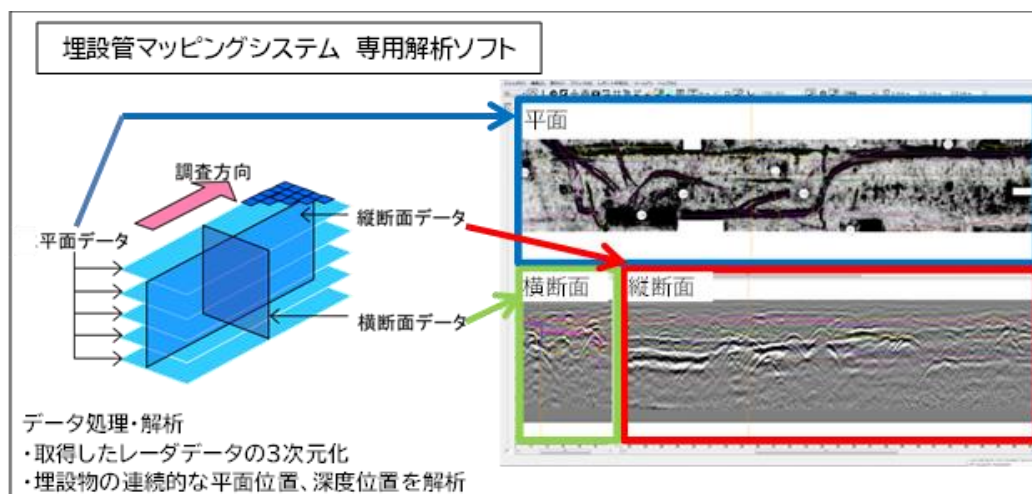


図 2-4 埋設管マッピングシステムの専用解析ソフト概念図

地中レーダーの特徴として、舗装条件・路面条件等によりデータ解像度に影響を受け、探査精度が低下する場合があります。また、小口径（内径φ50mm以下）の埋設物や急激な落込み部（引込管等）、輻輳箇所下部等は埋設管の検知が困難な場合があります。ただし、本システムは、対象区間を面的かつ連続的にデータの取得を行うため、一部の区間の検知確度が低下しても周辺部のデータから管の連続性等を推定することが可能である。現地において、マンホールの種類や位置、台帳図等の既存資料から情報を補完することで、埋設物の特定精度を向上させている。表 2-2 に探査性能、

表 2-3 及び表 2-4 に探査やデータ解析に影響を及ぼす条件を整理する。

表 2-2 埋設管マッピングシステム探査性能

項 目	主なスペック	
使用機器等	ハンディ型多配列地中レーダー、ハンディ型地中レーダー、専用解析ソフト	
探査能力	探査深度	1.5m 諸条件により異なる
	検知可能な材質	金属系、コンクリート系、プラスチック系、その他 ※内径φ50mm以下の小口径の埋設物については土質条件等から検知できない場合あり
	探査性能 (平均誤差)	水平位置：±10cm程度 埋設深さ：深度1m以浅：±10cm程度 深度1m以深：±10%程度
	※ 埋設管の管径、形状、占用企業者等の特定は、試掘結果及び既存資料から行う。 ※ 目視にて実際に確認可能な下水等において、「人孔等目視調査」を行い、埋設位置（深さ）を確認し、キャリブレーションすることで、精度向上に努める。 ※ 探査精度については、113箇所の試掘箇所を確認された208物件の埋設物の精度検証結果による。（平均誤差 水平8.9cm、深度8.2cm） 注）出典：平成20年度近畿地方整備局研究発表会 論文集 「電線共同溝事業における埋設物非破壊探査の試行と使用効果の検証について」	
作業能力	現地調査	500～1,000 m ² /日 程度

表 2-3 探査支障条件

探査支障条件	項 目	影 響	説 明
舗装条件	鉄筋コンクリート舗装	探査困難	鉄筋コンクリート下の埋設物については鉄筋の影響により検知困難
	スラグ路盤		これまでの調査実績より検知困難
幅員条件	手押型：1.0m 以下		使用機器の幅による
路面条件	未舗装	条件付で探査可	平坦性のある箇所では調査可能(砂浜等は不可)
気象条件	降雨		小雨程度であれば調査可能

表 2-4 精度低下条件

精度低下条件	項 目	影 響	説 明
探査対象条件	非金属系の埋設物	検知確度低下	これまでの調査実績より下水管(ヒューム管)・ガス管(ポリエチレン管)等で検知確度が低い
	小口径埋設物		非金属系で小口径の場合は現場環境条件の影響を受けやすい
	DP1.0m 以深かつ内径φ100mm 以下の埋設物		これまでの調査実績より検知確度が低い
	管路の急激な落込み部分	検知不可	宅地への引き込み管路等で急激に土被りが深くなるもの
	輻輳箇所の直下		埋設管輻輳箇所の直下の管路は検知できない
現場環境条件	高い地下水位	検知確度低下	これまでの調査実績より埋設物の検知確度が低い
	舗装体の塩分含有		マイクロ波の特性上、沿岸部の道路等では検知確度の低下が懸念される
	構造物近傍	検知確度・精度低下	マンホール躯体・縁石・街渠・防護柵等の近傍
	調査範囲端部		地中レーダーが管頂直上を通過できない場合、検知確度・精度の低下が懸念される
	段差		車歩道境界の L 型街渠等の段差箇所、乗り入れ段差箇所

2) 地中レーダー探査

【計画準備】

現地調査に必要な関係機関への手続きを実施した。

【現地計測】

● 測線設定

- 調査対象区間を、現地の状況（連続性、交通状況等）により、複数のブロックに分割し、ブロック毎にデータを取得する測線の位置を設定した

● データ取得

- 設定した測線に沿って、ハンディ型多配列地中レーダーを用いて、縦断方向に面的なデータを取得し、記録した。表 2-5 にハンディ型多配列地中レーダーの概要を示す。また、縦断方向のデータを補足する目的で、ハンディ型地中レーダーを用いて道路横断方向にデータを取得し、記録した。表

2-6 にハンディ型地中レーダーの概要を示す

表 2-5 ハンディ型多配列地中レーダー


項 目	仕 様
使用機材 及び 探査性能	<ul style="list-style-type: none"> ・機 材 名：ハンディ型多配列地中レーダー ・探 査 幅：0.6m（1 度に 8 測線データを取得） ・探 査 深 度：1.5m 程度（舗装・土質条件による） ・探 査 速 度：5km/h（最大） ・データ取得間隔：縦断 10mm ピッチ～・横断 80mm ピッチ 

表 2-6 ハンディ型レーダー

項 目	仕 様
使用機材 及び 探査性能	<ul style="list-style-type: none"> ・機 材 名：ハンディ型レーダー① ・探 査 幅：0.5m（1 度に 1 測線データを取得） ・探 査 深 度：3.0m 程度（舗装・土質条件による） ・探 査 速 度：5km/h（最大） ・データ取得間隔：縦断 10mm ピッチ～ 
	<ul style="list-style-type: none"> ・機材名：ハンディ型レーダー② ・探査幅：0.5m（1 度に 1 測線データを取得） ・探査深度：1.5m 程度（舗装・土質条件による） ・探査速度：5km/h（最大） ・データ取得間隔：縦断 10mm ピッチ～ 

【人孔等目視調査】

下水人孔等の蓋を開け、管路の土被りの測定を行った（図 2-5）。測定した結果は、地中レーダー解析の深度補正にも活用した。



図 2-5 人孔等目視調査



図 2-6 地表物オフセット計測

【地表物オフセット計測】

マンホールやバルブ等の地表物位置を記録するため、調査ブロックの基準点からメジャーでオフセットを計測し(図 2-6)、解析データに反映させた。なお、正確な地表物位置の特定には点群データを用いている。

3) 地上三次元点群測量

地上三次元点群測量は、対象範囲の道路形状や地物等の現況を点群データとして記録するために実施した。現地の状況(支障物)を考慮し、約 20~30m 程度を目安に数地点で三脚に三次元レーザースキャナを据付け、測定対象物にレーザを照射して距離と角度情報を取得し、三次元座標(XYZ)を付与した。また、現地との整合確認のため、TS による確認測量を行った。表 2-7 に三次元レーザースキャナの概要を示す。

表 2-7 三次元レーザースキャナ

項 目	仕 様
使用機材 及び 計測性能	<ul style="list-style-type: none"> ・モデル名: Leica ScanStation P40 ・波長: 1,550nm(不可視)/658nm(可視) ・最大計測距離: 半径 270m(反射率 34%) ・測点数: 1,000,000 点(秒速) ・ビーム間隔: 0.23mrad ・距離精度: 1.2mm+10ppm ・座標精度: 3mm@50m、6mm@100m ・レーザ: レーザークラス 1 

点密度は、全ての地物に対して 400 点/㎡を確保するように作業を実施した(表 2-8、表 2-9)。

表 2-8 3D 都市モデル作成のためのオリジナルデータの点密度(単位: 点/㎡)

	LOD1	LOD2.0	LOD2.1	LOD2.2	LOD3.0	LOD3.1	LOD3.2	LOD3.3	LOD4.0	LOD4.1	LOD4.2
建築物	-	-	-	-	100	100	100	400	-	-	-
交通(道路)	-	-			100	100	100	400			
交通(歩道)	-	-			100	100	100	400			
橋梁	-	-	100		400						
その他構造物	-	-			100	400					
都市設備	100	100			400	400					

植生	-	100			400						
----	---	-----	--	--	-----	--	--	--	--	--	--

- : 3D 都市モデル標準手順書で原典資料として定めのないもの。

/ : 地物に対する LOD の区分が存在しないもの。

「3D 都市モデル整備のための測量マニュアル」より作成。

表 2-9 三次元点群データ等の作成

成果品目	要求点密度	点群データの要求精度（標準値）	点群データの要求精度（対象）
グラウンドデータ グリッドデータ 等高線データ	1 点/0.1 m ² ~1 点/0.01 m ² (10 点/m ² ~100 点/m ²)	0.05m (RMS 誤差)	水平位置、標高
※備考 点群データの要求精度は評定点の残差、検証点の較差とする。			

「地上レーザ測量システムを用いた三次元点群合成マニュアル」より作成。

4) 地中レーダー解析実施手順

● データ処理

- 三次元(平面・縦断・横断)解析を行うために、調査ブロックごとに取得した複数のデータを結合し、解析用のデータを作成した(図 2-7)

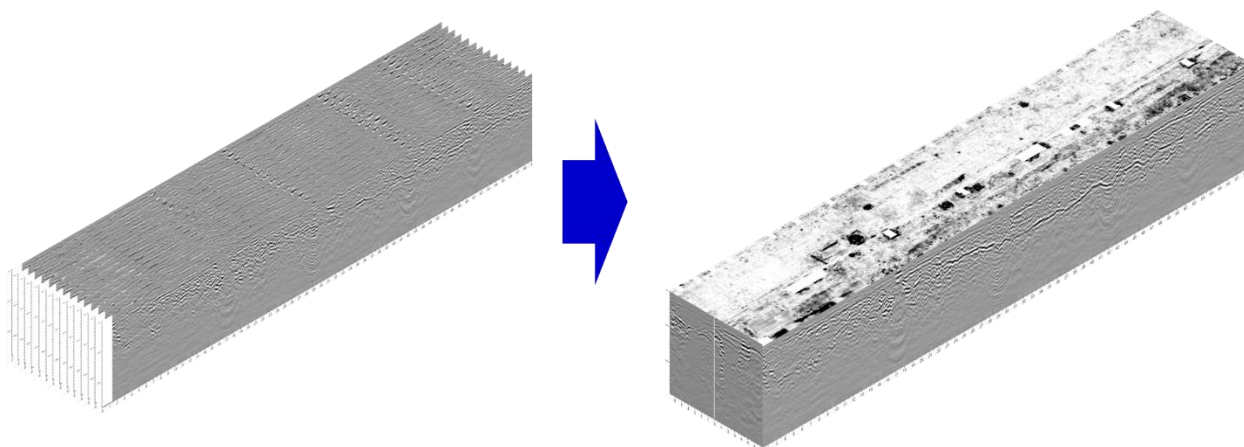


図 2-7 解析用データ処理イメージ

- 埋設位置解析

- 専門の解析技術者が結合処理を行ったデータを確認し、データの中から埋設物の特徴を示す反射信号を抽出するとともに、平面及び深さ方向の位置、連続的なつながり等の判断を行った（図 2-8、図 2-9、図 2-10）

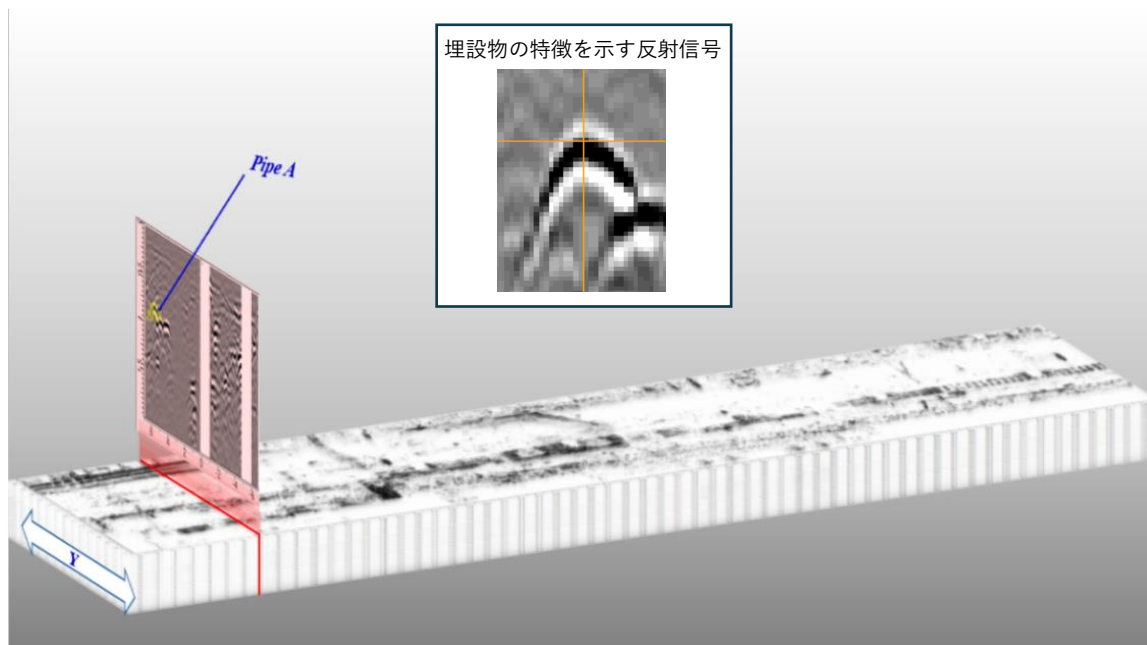


図 2-8 埋設位置解析イメージ（Y 軸断面）

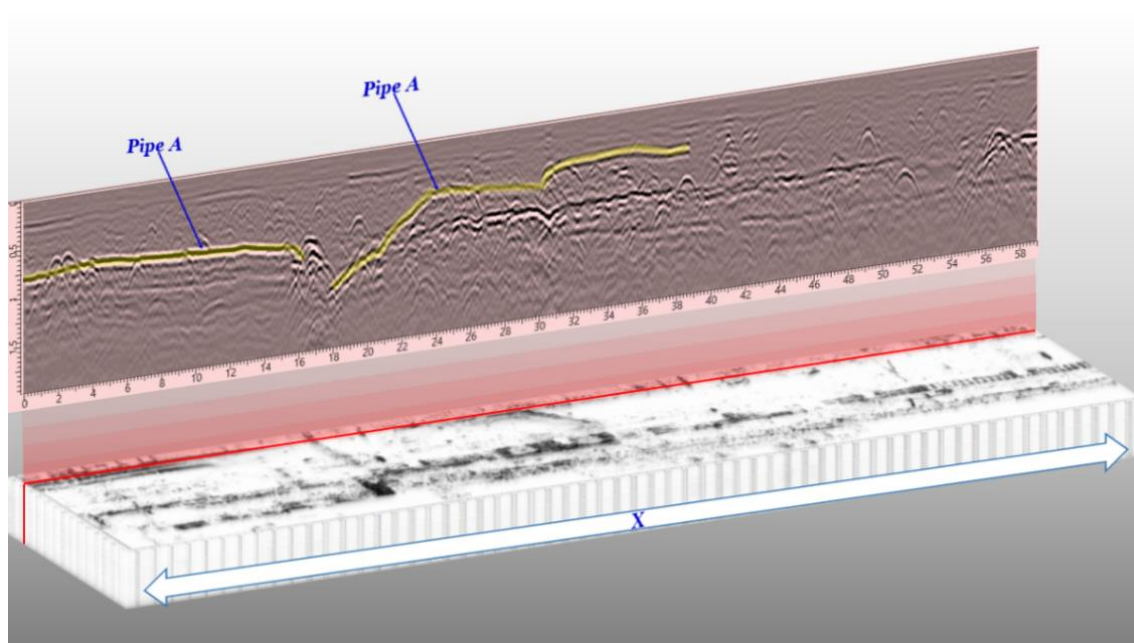


図 2-9 埋設位置解析イメージ（X 軸断面）

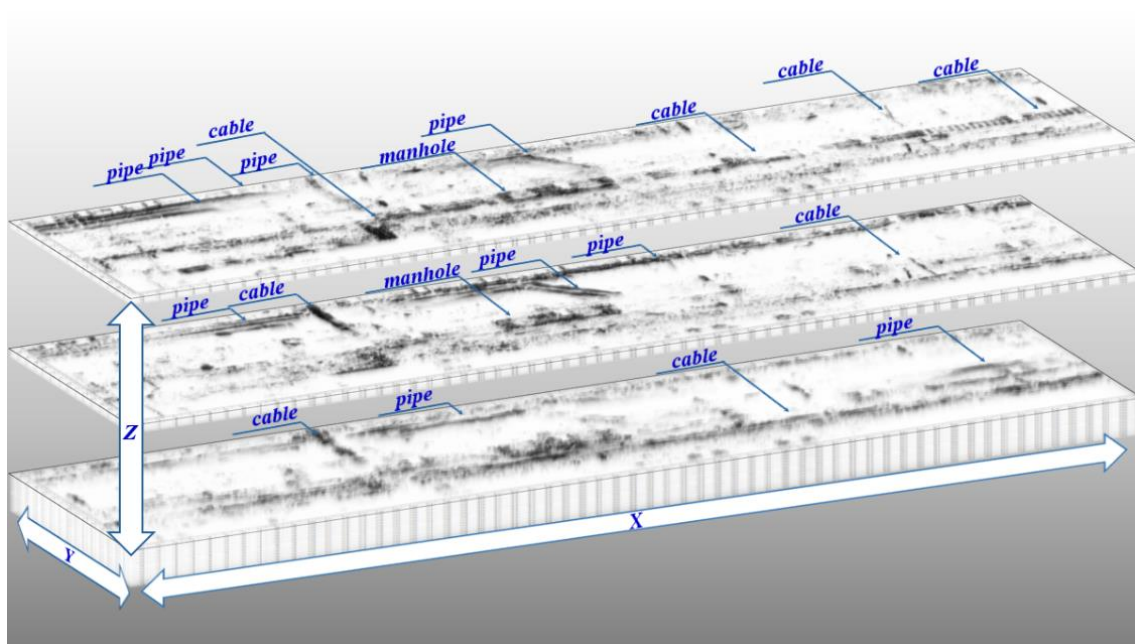


図 2-10 埋設位置解析イメージ（平面）

- 埋設物の管径・形状・占用企業者の特定

- 地中レーダー解析により定めることができるものは、埋設位置(平面・深度)であり、占用企業者の特定は、現地マンホール蓋等の地物や、占用企業者が保有する台帳図に記載されている情報等から行い、埋設管の管径・形状についても同様に台帳図等から特定した

5) 三次元点群データ処理

取得したデータに受領した基準点・水準点から緯度・経度・標高を付与し、合成処理を行った。また、ノイズ等の不要データを削除し、クリアな点群データを作成した（図 2-11）。



図 2-11 点群データ例

6) 現況と整合した 3DCAD モデル（地下埋設物）の作成

● 深度補正

- 解析した埋設管の線形を解析ソフトから出力し、点群データから抽出した地表面（路面サーフェス）の地盤高に合わせて深度補正を行った（図 2-12）

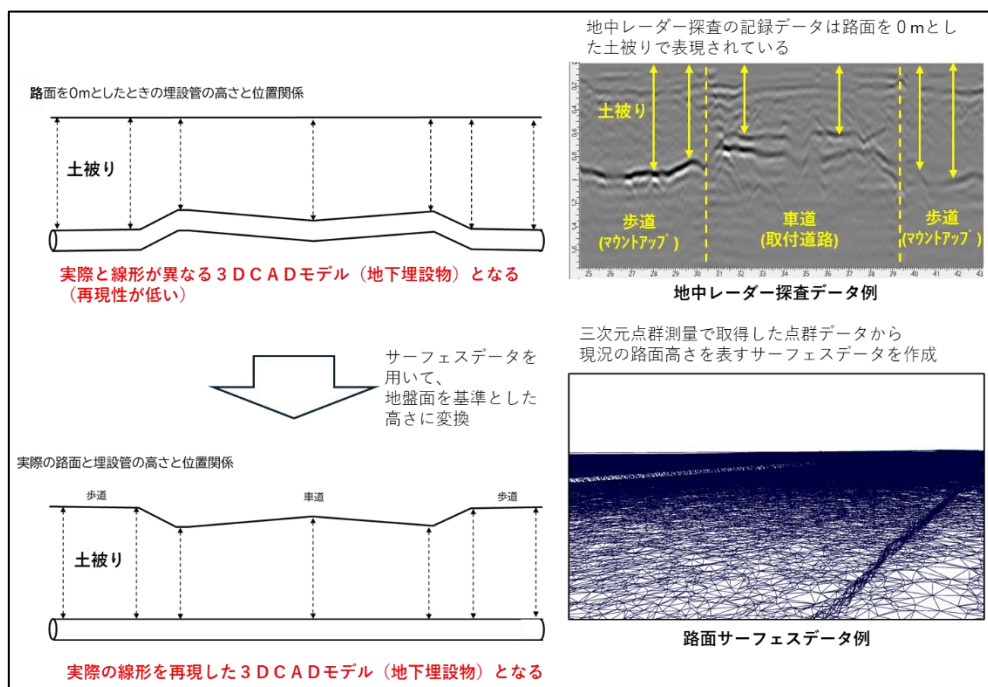


図 2-12 路面サーフェスデータを用いた深度補正

● 3DCAD モデル（地下埋設物）の作成

- 解析した埋設管の線形を解析ソフトから出力し、各占用企業者の台帳図を参考に管径や条段数といった断面情報を与え、断面を線形に沿ってスワイプさせて 3DCAD モデル（地下埋設物）を作成した（図 2-13）
- 管径の不明な管については $\phi 100$ 、占用企業者の不明な不特定管については $\phi 50$ 、異物・構造物等厚みが不明なものについては厚み 50mm で作成を行った（図 2-14）
- また、解析未検知の管（前後の線形からの推定や台帳情報を使用している部分）については、情報の信頼性が異なることから、連続している埋設管であってもオブジェクトを分けて作成した（図 2-15）

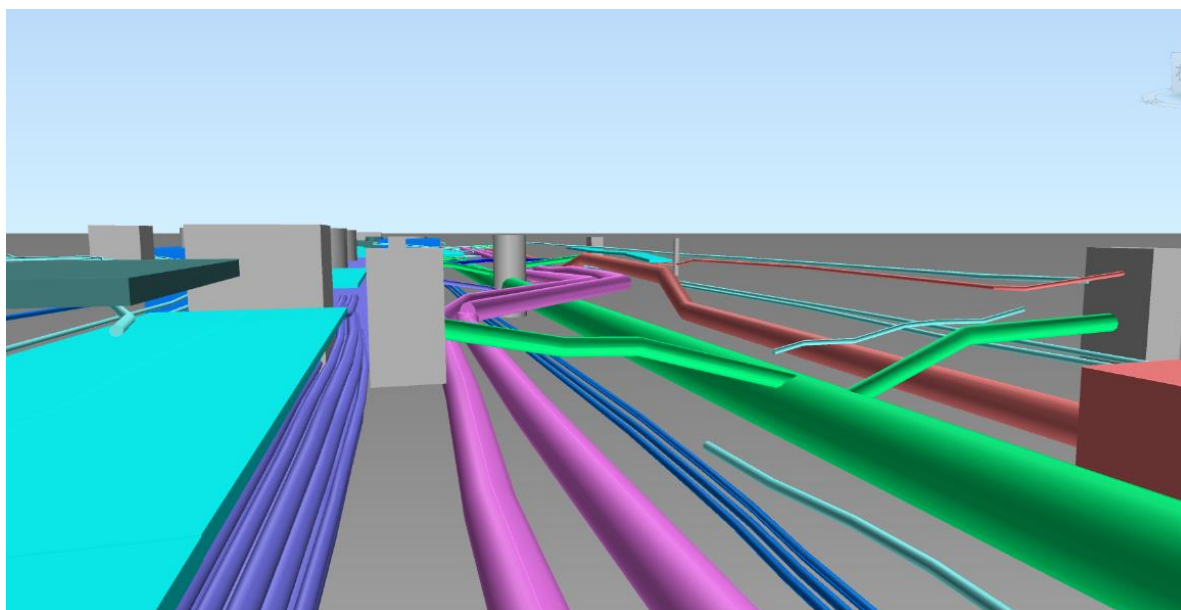


図 2-13 3DCAD モデル（地下埋設物）の例

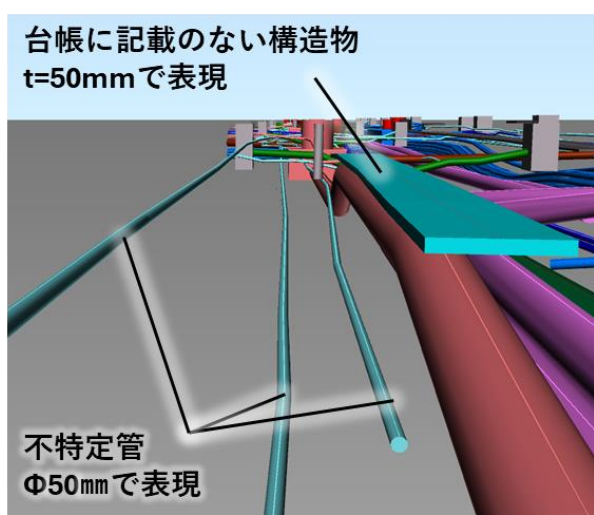


図 2-14 台帳未記載の構造物/不特定管の3D表現

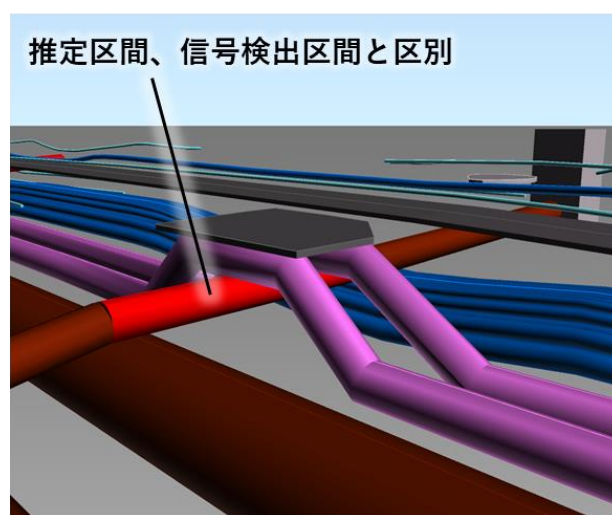


図 2-15 情報の信頼性による区別

2-3-4. 試掘結果との精度検証

1) 試掘結果との精度検証

地中レーダー探査結果を活用した 3DCAD モデル（地下埋設物）と、台帳図・GIS データを用いた 3DCAD モデル（地下埋設物）の精度を検証する方法として試掘調査を活用した。試掘調査で埋設管を露出させて正確な値を取得し、その値との差を計測して精度を確認した。検証は以下の手順で実施した。

1. 試掘調査で露出した埋設管の位置を TS 測量で計測（1 つの埋設物に対して 2 点以上）し、測量データを数学座標に変換して、検証において正の値とする座標値を取得した
2. 試掘調査で露出した埋設管の位置を、写真測量技術を活用したアプリである「ちかデジ」（28 頁で詳述）

を用いて、3D データを作成した。掘削範囲の端部を TS 測量し座標値を与えた

3. 三次元点群測量成果に基づく地形図（数学座標）を基盤に、地中レーダー探査結果及び台帳・GIS データから 3DCAD モデル（地下埋設物）を作成した
4. 地中レーダー探査結果を活用した 3DCAD モデル（地下埋設物）、台帳図・GIS データを用いた 3DCAD モデル（地下埋設物）のそれぞれに、TS 測量の座標値、「ちかデジ」で作成した 3D データを重ね合わせた
5. 座標値から 3DCAD モデル（地下埋設物）上の管頂までの距離（2 点の座標間距離）を CAD ソフト上で計測した（図 2-16）

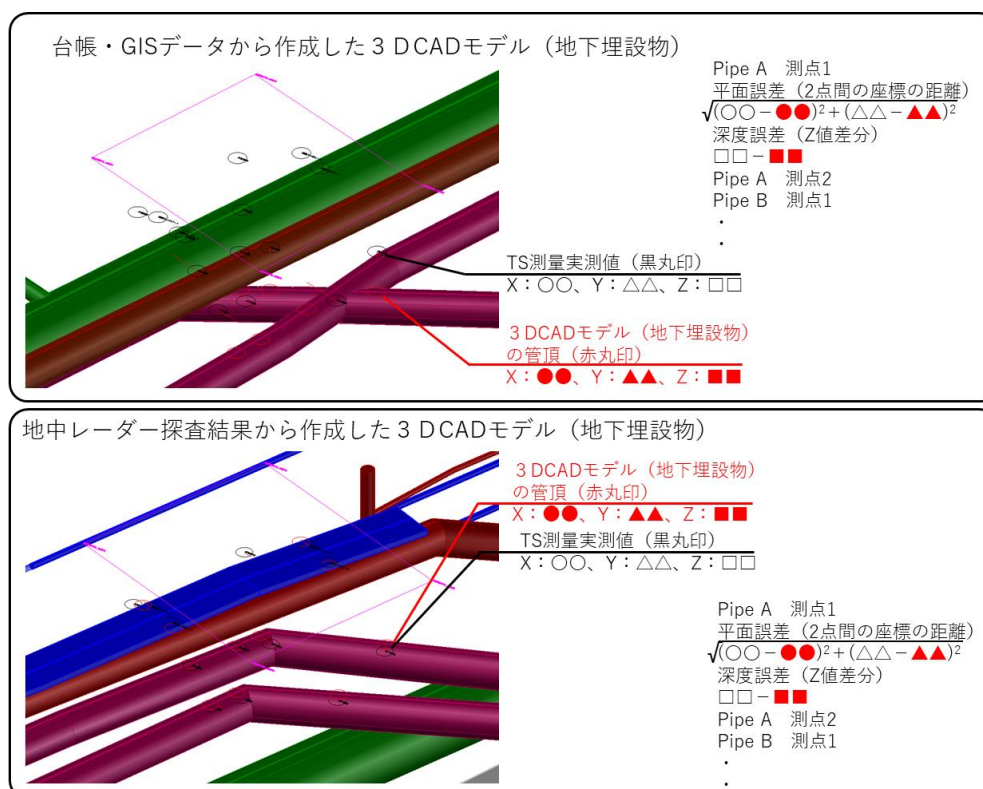


図 2-16 TS 測量値との誤差計測

- 計測した値を各試掘箇所集計し、精度を示す以下の指標について整理した
 - 捕捉率：台帳図に記載のある埋設物数/試掘で露出した埋設物数
 - 平均誤差(平面位置、深度)：(測量座標値－3DCAD モデル（地下埋設物）管頂)の平均値
 - 最小誤差(平面位置、深度)：(測量座標値－3DCAD モデル（地下埋設物）管頂)の最小値
 - 最大誤差(平面位置、深度)：(測量座標値－3DCAD モデル（地下埋設物）管頂)の最大値
 - 標準偏差(2σ)(平面位置、深度)：(測量座標値－3DCAD モデル（地下埋設物）管頂)の標準偏差の2倍

「ちかデジ」で作成した 3D モデルは、地中レーダー探査結果を活用した 3DCAD モデル及び、台帳図・GIS データを用いた 3DCAD モデルの誤差を視覚的に確認するために活用した。

また、レーダー探査の精度に影響を及ぼすと想定される要因について確認を行うとともに、位置精度以外の情

報精度についても整理した。

2) 試掘調査

【試掘調査箇所の選定】

試掘調査箇所は地中レーダー探査結果を活用した 3DCAD モデル（地下埋設物）と、台帳図・GIS データを用いた 3DCAD モデル（地下埋設物）の差が確認しやすい場所を選定するために、以下の条件に当てはまる箇所を抽出した（図 2-17）。



図 2-17 試掘調査箇所の選定

- 台帳図と現況の相違可能性
 - 地中レーダー探査結果から台帳図・GIS データの平面位置や深さ等が現況と相違している可能性が高い箇所
- 不特定管の可能性
 - 地中レーダー探査結果から台帳図・GIS データに記載されていない埋設物が存在している可能性が高い箇所
- 探査に支障となる埋設物の存在可能性
 - 地中レーダー探査及び台帳図・GIS データから、埋設物が輻輳している可能性が高い箇所
- 舗装構成
 - 舗装構成によって、地中レーダー探査の精度への影響が見られるか確認するために、3都市で舗装構成に着目した選定を実施した

札幌市：凍上抑制層による精度への影響を確認

広島市：車道舗装（舗装が厚い）による精度への影響を確認

福岡市：歩道舗装（舗装が薄い）による精度への影響を確認

【試掘調査の計画準備】

試掘調査の実施に当たっては、国土交通省都市局より各都市の道路管理部署へ一次占用許可申請又は道路掘削許可申請を行うとともに、所轄警察署への道路使用許可申請のほか、各占用企業者への施工通知、必要に応じて施工協議や立会依頼を行い、道路交通への支障や地下埋設物破損事故が生じぬよう、安全対策を講じた。

c.試掘調査の実施

図 2-18 に試掘調査手順の概要を示す。各都市の地元企業の協力を得て、試掘調査を実施した。試掘調査は「試掘範囲の明示」、「舗装切断」、「舗装剥ぎ取り」、「路盤掘削」、「路床掘削」、「埋設管露出」の手順で進め、露出した埋設管や構造物の端点及び変化点を TS 測量し、座標値を取得した。また、動画から 3D データを作成できるアプリケーション「ちかデジ」(図 2-19) を用いるために、試掘範囲を動画撮影した。一連の計測作業完了後、埋設管や構造物を砂等で埋戻し、路床、路盤を埋戻し転圧し、アスファルト舗装の復旧を行った。



図 2-18 試掘調査手順の概要



図 2-19 「ちかデジ」作業手順¹²

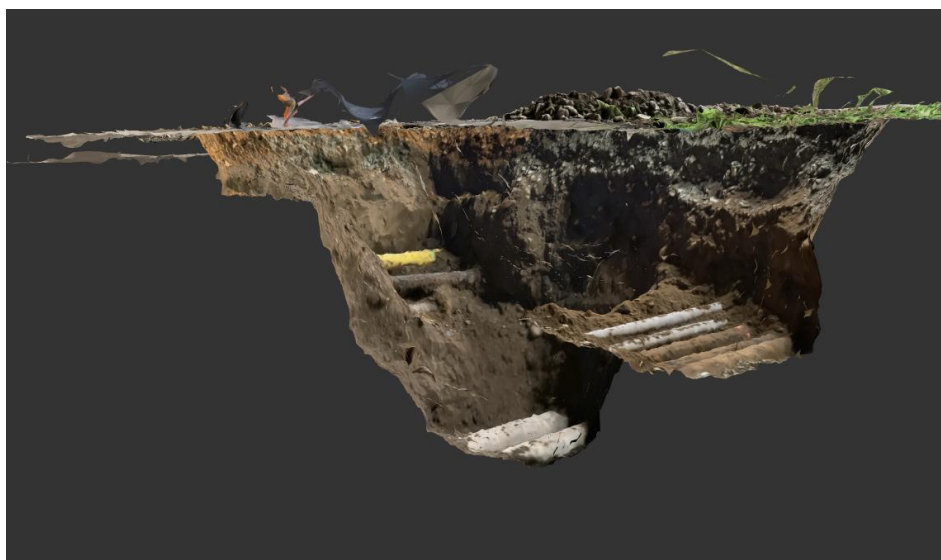


図 2-20 ちかデジで作成した 3D データ例

¹² 国土交通省、上下水道 DX カタログ「掘削状況 3D 管理アプリ「ちかデジ」
https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/watersupply_sewerage/jyouge_dx/pdf/jyouge36.pdf

3) 試掘調査結果

試掘調査結果を以下に示す。なお、本レポートでは埋設物情報の秘匿性を考慮し、埋設管の種類は明示せず、記号で表す。

【札幌市 試掘箇所 1】

札幌市 試掘箇所 1 の試掘調査において露出した埋設管の状況を図 2-21 に示す。



図 2-21 札幌市 試掘箇所 1 埋設管露出状況

- 露出した埋設物について
 - 試掘調査によって露出した埋設物は、図 2-21 に示す S1～S4 の 4 種類であった
 - いずれの埋設物も台帳図に記載されている管路である
 - S1 と S2 は複数の管路をまとめて埋設する多条管である
 - S3 の下付近にも埋設管路が存在する可能性があるが、S3 の管路の安定性や破損リスクを考慮して、管路の下掘削は行っていない
- 舗装構成について
 - 路面から順番に、アスファルト舗装が 3 cm、砕石路盤が 10 cm、凍上抑制層が 17 cm、以深は管路埋戻し材(砂等)であった
- 地下水位について
 - 掘削中や掘削底部 (GL-1.5m 付近) からの湧水はなく、地下水位は確認されていない

【札幌市 試掘箇所 2】

札幌市 試掘箇所 2 の試掘調査において露出した埋設管の状況を図 2-22 に示す。



図 2-22 札幌市 試掘箇所 2 埋設管露出状況

- 露出した埋設物について
 - 試掘調査によって露出した埋設物は、図 2-22 に示す S5～S10 の 6 種類であった
 - S9 のみ台帳に記載されていないが、それ以外の埋設物は台帳図に記載されている管路である
 - S5、S6、S7 は複数の管路をまとめて埋設する多条管である
 - S5 と S6、S8 と S9 は異なる種類の管路が近接しており、輻輳している状況が確認できる
 - S5 と S6 については同一の占有企業者が管理する埋設物、S8 と S9 は異なる占有企業者が管理する埋設物である
- 舗装構成について
 - 路面から順番に、アスファルト舗装が 3 cm、碎石路盤が 10 cm、凍上抑制層が 17 cm、以深は管路埋戻し材(砂等)であった
- 地下水位について
 - 掘削中や掘削底部（GL－1.5m 付近）からの湧水はなく、地下水位は確認されていない

【広島市 試掘箇所 1】

広島市 試掘箇所 1 の試掘調査において露出した埋設管の状況を図 2-23 に示す。

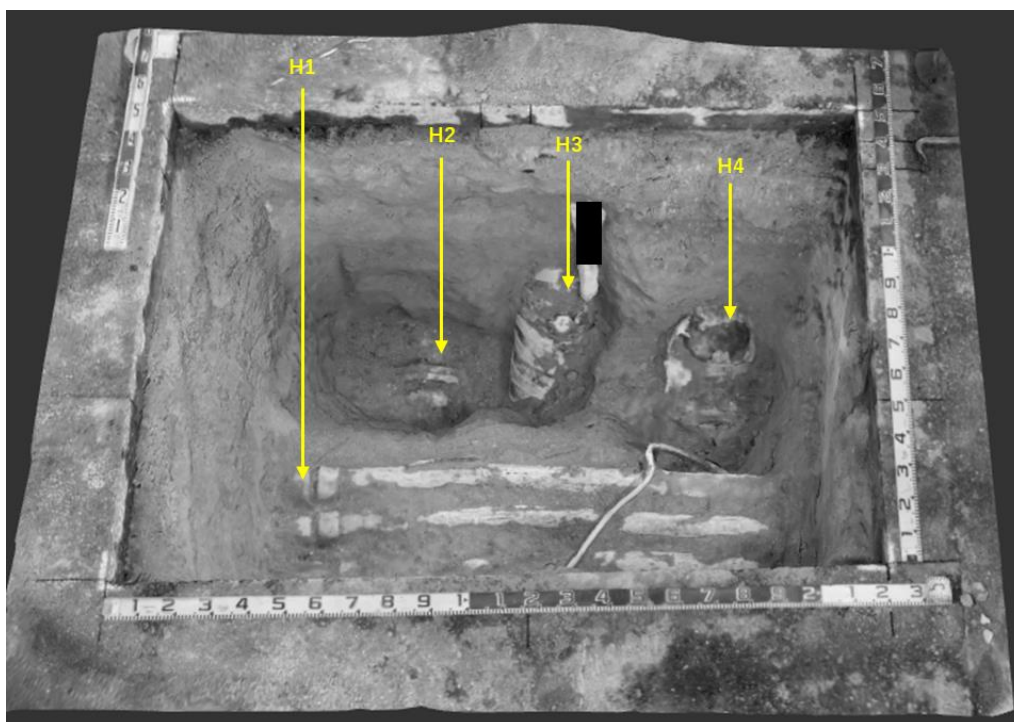


図 2-23 広島市 試掘箇所 1 埋設管露出状況

- 露出した埋設物について
 - 試掘調査によって露出した埋設物は、図 2-23 に示す H1～H4 の 4 種類であった
 - H2、H3、H4 は台帳図に記載されているが、H1 は台帳図に記載されていなかった管路である
 - H1 は複数の管路をまとめて埋設する多条管である。占用企業者の立会担当からの情報で、有姿除却の設備であるため、台帳図には記載されていないとの説明があった
 - H2、H3、H4 は H1 の管路を下越しするために深度が大きく変化している
- 舗装構成について
 - 路面から順番に、アスファルト舗装が 20 cm、以深は路盤と管路埋戻し材（砂が主体）で構成されているが、路盤と管路埋戻し材の境界は不明瞭であった
- 地下水位について
 - 掘削中や掘削底部（GL－1.5m付近）からの湧水はなく、地下水位は確認されていない

【広島市 試掘箇所2】

広島市 試掘箇所2の試掘調査において露出した埋設管の状況を図 2-24 に示す。



図 2-24 広島市 試掘箇所2 埋設管露出状況

- 露出した埋設物について
 - 試掘調査によって露出した埋設物は、図 2-24 に示す H5～H9 の5種類であった。H8、H9は台帳図に記載されているが、H5、H6は管路ではなく施工時の土留めに用いる矢板であり、残置物となるため、台帳図には記載されていない。H7については、防護コンクリートの直下にある管路の情報は台帳図に記載されているが、防護コンクリートについては記載されていない
- 舗装構成について
 - 路面から順番に、アスファルト舗装が20cm、以深は路盤と管路埋戻し材（砂が主体）で構成されているが、路盤と管路埋戻し材の境界は不明瞭であった
- 地下水位について
 - 掘削中や掘削底部（GL－1.5m付近）からの湧水はなく、地下水位は確認されていない

【福岡市 試掘箇所 1】

福岡市 試掘箇所 1 の試掘調査において露出した埋設管の状況を図 2-25 に示す。

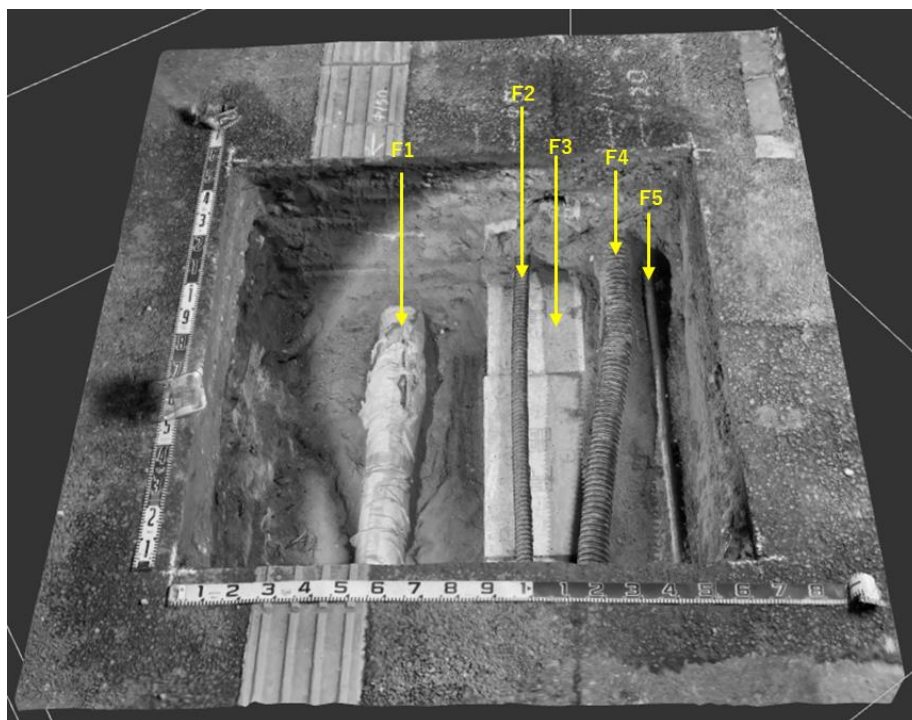


図 2-25 福岡市 試掘箇所 1 埋設管露出状況

- 露出した埋設物について
 - 試掘調査によって露出した埋設物は、図 2-25 に示す F1～F5 の 5 種類であった
 - F1 及び F3 の防護コンクリートの直下にある管路の情報は台帳図に記載されているが、F3 の防護コンクリート自体、F2、F4 の埋設物については記載されていない
 - F5 は管理者が不明な不特定管である
- 舗装構成について
 - 路面から順番に、アスファルト舗装が 4 cm、碎石路盤が 10 cm、以深は管路埋戻し材(砂等)であった
- 地下水位について
 - 掘削中や掘削底部（GL－1.0m付近）からの湧水はなく、地下水位は確認されていない

【福岡市 試掘箇所 2】

福岡市 試掘箇所 2 の試掘調査において露出した埋設管の状況を図 2-26 に示す。

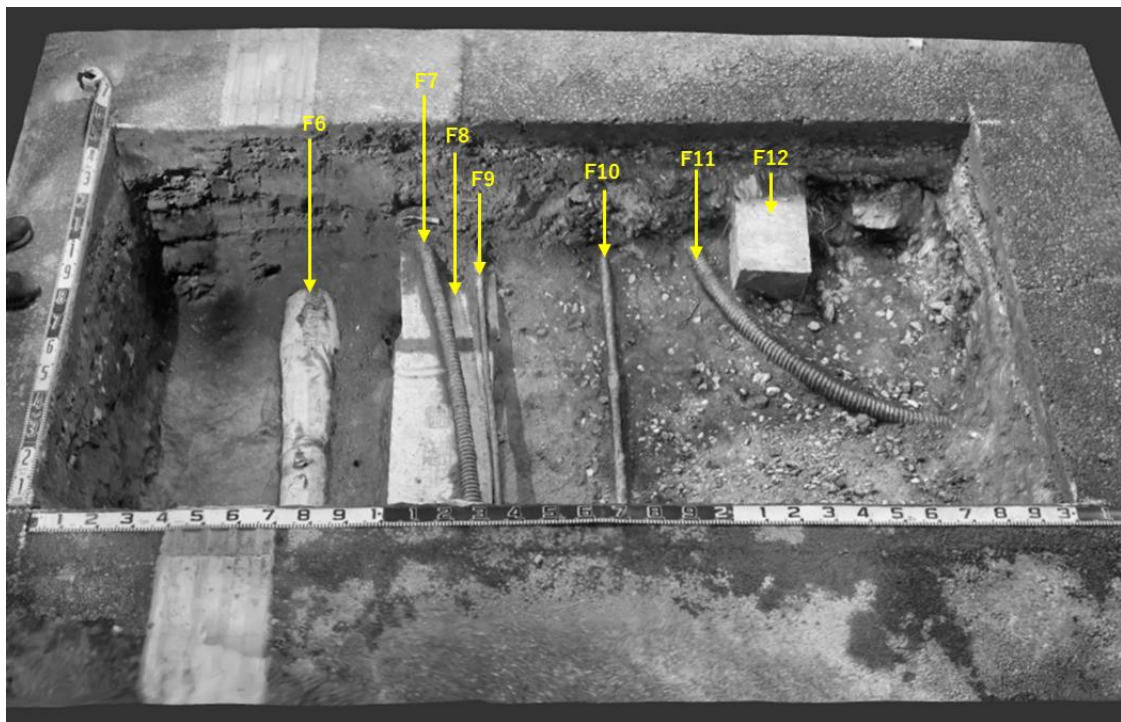


図 2-26 福岡市 試掘箇所 2 埋設管露出状況

- 露出した埋設物について
 - 試掘調査によって露出した埋設物は図 2-26 に示す F6～F12 の 7 種類であった
 - F6 及び F8 の防護コンクリートの直下にある管路の情報は台帳図に記載されているが、F8 の防護コンクリート自体、F7、F9 の埋設物については記載されていない
 - F10 は管理者が不明な不特定管である
 - F11 はハンドホールとの位置関係から埋設物の種類を特定できたが、台帳図には記載されていない
 - F12 はコンクリート製の残置構造物である
- 舗装構成について
 - 路面から順番に、アスファルト舗装が 4 cm、砕石路盤が 10 cm、以深は管路埋戻し材(砂等)であった
- 地下水位について
 - 掘削中や掘削底部（GL－1.0m付近）からの湧水はなく、地下水位は確認されていない

2-4. 検証結果

2-4-1. 台帳図・GIS データを用いた 3DCAD モデル（地下埋設物）の精度検証結果

1) 札幌市

2 箇所で試掘調査を実施し、合計で 10 件の埋設物が確認された。これらの埋設物に対して TS 測量の実測値を台帳図・GIS データから作成した 3DCAD モデル（地下埋設物）に取り込み、CAD 上で管頂との 2 点間の距離（XY 軸）を算出し、平面誤差として整理した。また、深度（Z 軸）についても差分を算出し、深度誤差として整理した。

表 2-10 試掘で露出した埋設物との精度比較結果

管路ID	記載有無	検証点	平面誤差	深度誤差	管路ID	記載有無	検証点	平面誤差	深度誤差
S1	有	1	0.282m	0.113m	S7	有	1	0.302m	0.341m
		2	0.282m	0.088m			2	0.301m	0.345m
S2	有	1	0.323m	0.095m	S8	有	1	0.290m	0.221m
		2	0.324m	0.094m			2	0.339m	0.206m
S3	有	1	0.146m	0.099m	S9	なし	1	—	—
		2	0.111m	0.102m			2	—	—
S4	有	1	0.443m	0.018m	S10	有	1	0.265m	0.038m
		—	—	—			2	0.242m	0.077m
S5	有	1	0.201m	0.113m					
		2	0.187m	0.107m					
S6	有	1	0.324m	0.092m					
		2	0.241m	0.110m					

表 2-10 に整理した値から、精度に関する指標は以下のとおりである。

- 捕捉率(台帳図に記載のある埋設物数/試掘で露出した埋設物数):90.0%
- 平均誤差:平面位置 0.271m, 深度 0.133m
- 最小誤差:平面位置 0.111m, 深度 0.018m, 最大誤差:平面位置 0.443m, 深度 0.345m
- 標準偏差 (2σ): 平面位置 0.153m, 深度 0.180m

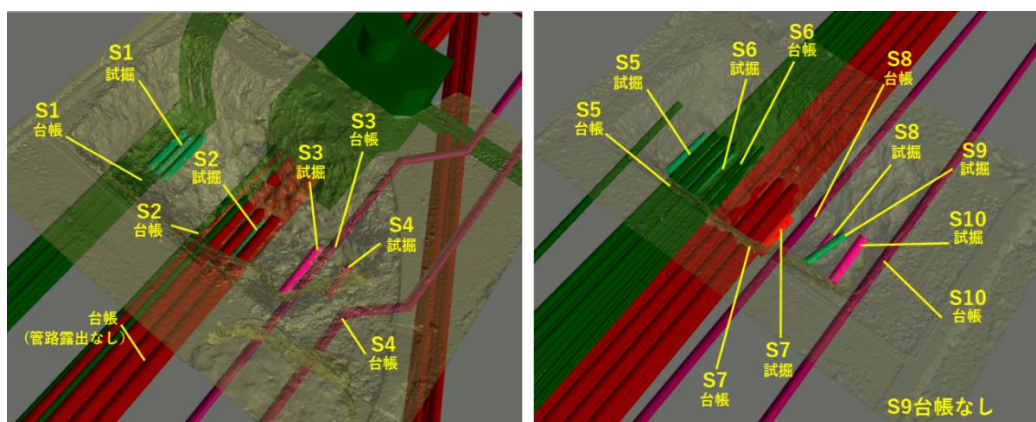


図 2-27 台帳図・GIS データを用いた 3DCAD モデル（地下埋設物）の精度検証

2) 広島市

2箇所を試掘調査を実施し、合計で9件の埋設物が確認された。これらの埋設物に対して TS 測量の実測値を台帳図・GIS データから作成した 3DCAD モデル（地下埋設物）に取り込み、CAD 上で管頂との 2 点間の距離（XY 軸）を算出し、平面誤差として整理した。また、深度（Z 軸）についても差分を算出し、深度誤差として整理した。

表 2-11 試掘で露出した埋設物との精度比較結果

管路ID	記載有無	検証点	平面誤差	深度誤差	管路ID	記載有無	検証点	平面誤差	深度誤差
H1	なし	1	—	—	H7	なし	1	—	—
		2	—	—			2	—	—
H2	有	1	0.423m	0.434m	H8	有	1	0.364m	0.430m
		2	0.394m	0.415m			2	0.100m	0.394m
H3	有	1	0.209m	0.114m	H9	有	1	0.235m	0.373m
		2	0.279m	0.271m			2	0.406m	0.312m
H4	有	1	0.712m	0.339m					
		2	0.713m	0.578m					
H5	なし	1	—	—					
		2	—	—					
H6	なし	1	—	—					
		2	—	—					

表 2-11 に整理した値から、精度に関する指標は以下のとおりである。

- 捕捉率(台帳図に記載のある埋設物数/試掘で露出した埋設物数):55.5%
- 平均誤差:平面位置 0.384m, 深度 0.366m
- 最小誤差:平面位置 0.100m, 深度 0.114m, 最大誤差:平面位置 0.713m, 深度 0.578m
- 標準偏差 (2σ): 平面位置 0.381m, 深度 0.231m

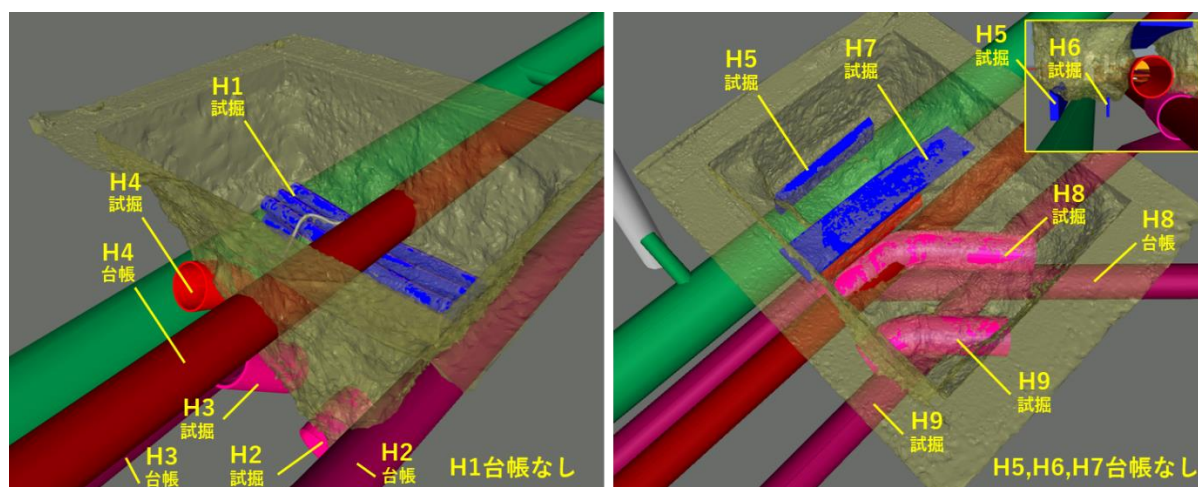


図 2-28 台帳図・GIS データを用いた 3DCAD モデル（地下埋設物）の精度検証

3) 福岡市

2箇所を試掘調査を実施し、合計で12件の埋設物が確認された。これらの埋設物に対してTS測量の実測値を台帳図・GISデータから作成した3DCADモデル（地下埋設物）に取り込み、CAD上で管頂との2点間の距離（XY軸）を算出し、平面誤差として整理した。また、深度（Z軸）についても差分を算出し、深度誤差として整理した。

表 2-12 試掘で露出した埋設物との精度比較結果

管路ID	記載有無	検証点	平面誤差	深度誤差	管路ID	記載有無	検証点	平面誤差	深度誤差
F1	有	1	0.100m	0.017m	F7	有	1	0.431m	0.307m
		2	0.060m	0.012m			2	0.224m	0.305m
F2	有	1	0.257m	0.338m	F8	なし	1	—	—
		2	0.260m	0.314m			2	—	—
F3	なし	1	—	—	F9	なし	1	—	—
		2	—	—			2	—	—
F4	なし	1	—	—	F10	なし	1	—	—
		2	—	—			2	—	—
F5	なし	1	—	—	F11	なし	1	—	—
		2	—	—			2	—	—
F6	有	1	0.123m	0.009m	F12	なし	1	—	—
		2	0.080m	0.018m			2	—	—

表 2-12 に整理した値から、精度に関する指標は以下のとおりである。

- 捕捉率(台帳図に記載のある埋設物数/試掘で露出した埋設物数):33.3%
- 平均誤差:平面位置 0.192m, 深度 0.165m
- 最小誤差:平面位置 0.060m, 深度 0.009m, 最大誤差:平面位置 0.431m, 深度 0.338m
- 標準偏差 (2 σ): 平面位置 0.235m, 深度 0.303m

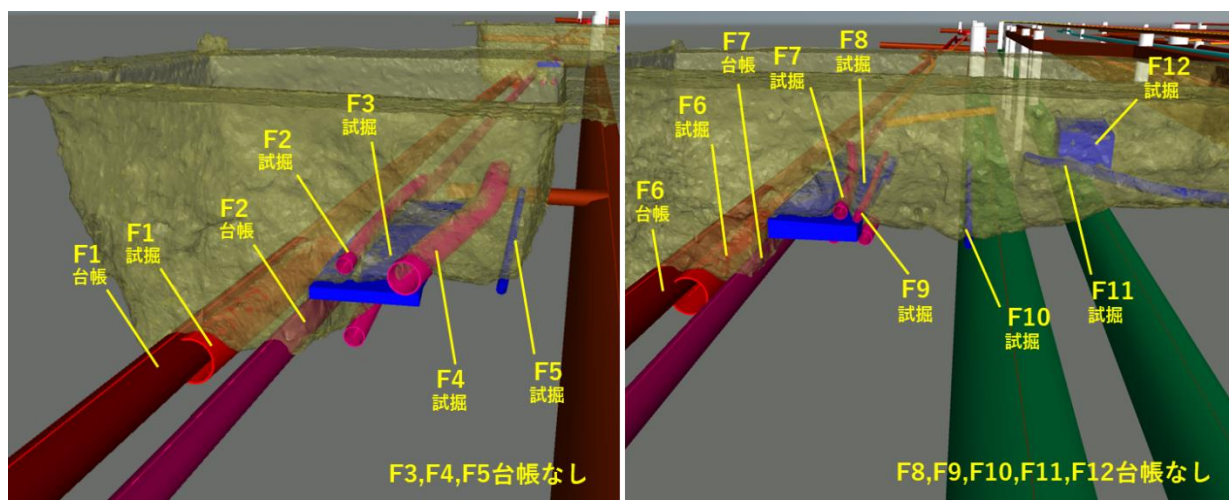


図 2-29 台帳図・GISデータを用いた3DCADモデル（地下埋設物）の精度検証

2-4-2. 地中レーダー探査結果を活用した 3DCAD モデル（地下埋設物）の精度検証結果

1) 札幌市

2 箇所で試掘調査を実施し、合計で 10 件の埋設物が確認された。これらの埋設物に対して TS 測量の実測値を地中レーダー探査結果を活用した 3DCAD モデル（地下埋設物）に取り込み、CAD 上で管頂との 2 点間の距離（XY 軸）を算出し、平面誤差として整理した。また、深度（Z 軸）についても差分を算出し、深度誤差として整理した。

表 2-13 試掘で露出した埋設物との精度比較結果

管路ID	記載有無	検証点	平面誤差	深度誤差	管路ID	記載有無	検証点	平面誤差	深度誤差
S1	有	1	0.093m	0.066m	S7	有	1	0.126m	0.076m
		2	0.042m	0.075m			2	0.132m	0.097m
S2	有	1	0.048m	0.148m	S8	有	1	0.018m	0.059m
		2	0.000m	0.113m			2	0.034m	0.072m
S3	有	1	0.111m	0.053m	S9	有	1	0.037m	0.004m
		2	0.080m	0.001m			2	0.006m	0.036m
S4	有	1	0.105m	0.006m	S10	有	1	0.030m	0.000m
		—	—	—			2	0.073m	0.000m
S5	有	1	0.026m	0.140m					
		2	0.026m	0.137m					
S6	有	1	0.028m	0.092m					
		2	0.030m	0.085m					

表 2-13 に整理した値から、精度に関する指標は以下のとおりである。

- 捕捉率(地中レーダー探査で検出した埋設物数/試掘で露出した埋設物数): 100%
- 平均誤差:平面位置 0.055m, 深度 0.066m
- 最小誤差:平面位置 0.000m, 深度 0.000m, 最大誤差:平面位置 0.132m, 深度 0.148m
- 標準偏差 (2 σ): 平面位置 0.080m, 深度 0.095m

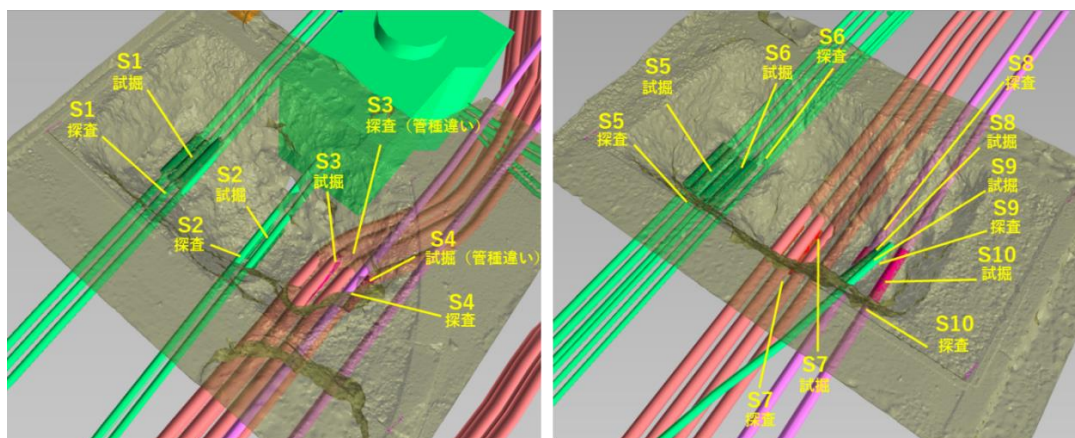


図 2-30 地中レーダー探査結果を活用した 3DCAD モデル（地下埋設物）の精度検証

2) 広島市

2 箇所で試掘調査を実施し、合計で 9 件の埋設物が確認された。これらの埋設物に対して TS 測量の実測値を地中レーダー探査結果を活用した 3DCAD モデル（地下埋設物）に取り込み、CAD 上での管頂との 2 点間の距離（XY 軸）を算出し、平面誤差として整理した。また、深度（Z 軸）についても差分を算出し、深度誤差として整理した。

表 2-14 試掘で露出した埋設物との精度比較結果

管路ID	記載有無	検証点	平面誤差	深度誤差	管路ID	記載有無	検証点	平面誤差	深度誤差
H1	有	1	0.024m	0.003m	H7	有	1	0.113m	0.042m
		2	0.007m	0.046m			2	0.011m	0.027m
H2	有	1	0.074m	0.250m	H8	有	1	0.037m	0.004m
		2	0.043m	0.107m			2	0.138m	0.018m
H3	有	1	0.052m	0.022m	H9	有	1	0.011m	0.017m
		2	0.120m	0.223m			2	0.071m	0.018m
H4	有	1	0.010m	0.085m					
		2	0.003m	0.012m					
H5	有	1	0.002m	0.023m					
		2	0.030m	0.040m					
H6	有	1	0.051m	0.115m					
		2	0.099m	0.113m					

表 2-14 に整理した値から、精度に関する指標は以下のとおりである。

- 捕捉率(地中レーダー探査で検出した埋設物数/試掘で露出した埋設物数):100%
- 平均誤差:平面位置 0.050m, 深度 0.065m
- 最小誤差:平面位置 0.003m, 深度 0.003m, 最大誤差:平面位置 0.138m, 深度 0.250m
- 標準偏差 (2 σ): 平面位置 0.085m, 深度 0.141m

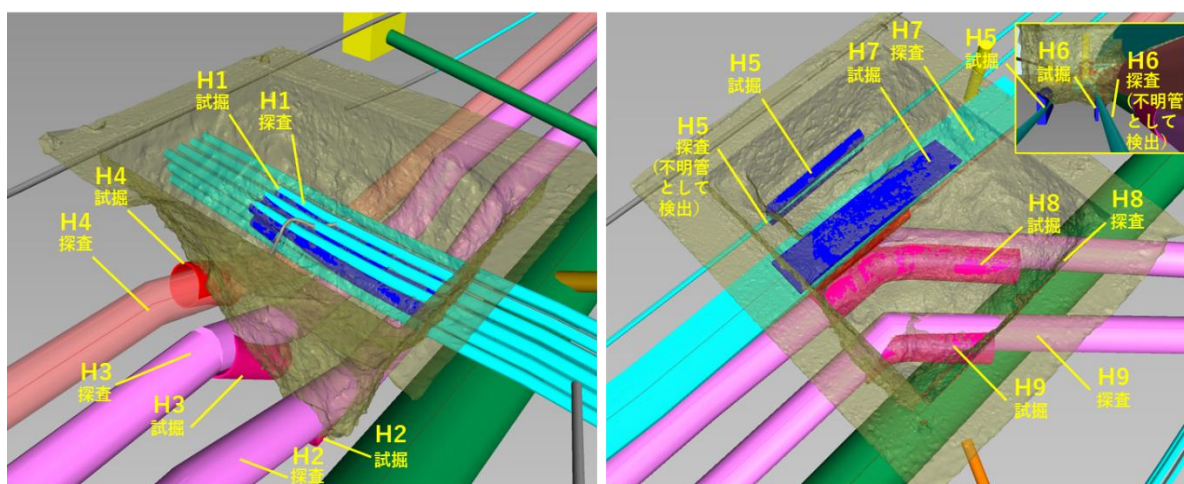


図 2-31 地中レーダー探査結果を活用した 3DCAD モデル（地下埋設物）の精度検証

3) 福岡市

2箇所を試掘調査を実施し、合計で12件の埋設物が確認された。これらの埋設物に対してTS測量の実測値を地中レーダー探査結果を活用した3DCADモデル（地下埋設物）に取り込み、CAD上で管頂との2点間の距離（XY軸）を算出し、平面誤差として整理した。また、深度（Z軸）についても差分を算出し、深度誤差として整理した。

表 2-15 試掘で露出した埋設物との精度比較結果

管路ID	記載有無	検証点	平面誤差	深度誤差	管路ID	記載有無	検証点	平面誤差	深度誤差
F1	有	1	0.076m	0.185m	F7	有	1	0.217m	0.074m
		2	0.062m	0.191m			2	0.000m	0.079m
F2	有	1	0.002m	0.042m	F8	有	1	0.043m	0.114m
		2	0.005m	0.050m			2	0.039m	0.131m
F3	有	1	0.031m	0.045m	F9	有	1	0.087m	0.067m
		2	0.040m	0.070m			2	0.001m	0.063m
F4	有	1	0.134m	0.084m	F10	有	1	0.120m	0.094m
		2	0.026m	0.045m			2	0.068m	0.087m
F5	有	1	0.006m	0.038m	F11	有	1	0.041m	0.097m
		2	0.050m	0.030m			2	0.097m	0.072m
F6	有	1	0.028m	0.212m	F12	なし	1	—	—
		2	0.010m	0.255m			2	—	—

表 2-15 に整理した値から、精度に関する指標は以下のとおりである。

- 捕捉率(地中レーダー探査で検出した埋設物数/試掘で露出した埋設物数):91.7%
- 平均誤差:平面位置 0.054m, 深度 0.097m
- 最小誤差:平面位置 0.000m, 深度 0.030m, 最大誤差:平面位置 0.212m, 深度 0.191m
- 標準偏差 (2 σ): 平面位置 0.103m, 深度 0.120m

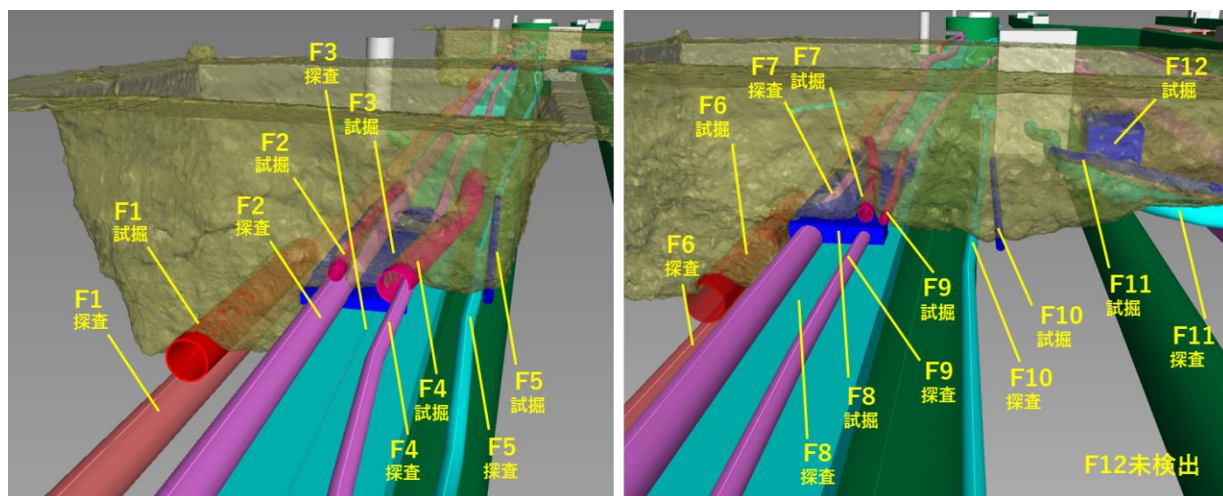


図 2-32 地中レーダー探査結果を活用した3DCADモデル（地下埋設物）の精度検証

2-4-3. 精度検証結果の分析

1) 精度検証結果の比較

2-3-2 において、台帳図・GIS データから作成した 3DCAD モデル（地下埋設物）及び地中レーダー探査結果を活用した 3DCAD モデル（地下埋設物）と、試掘調査結果を比較し、精度検証を行った結果を示した。それぞれの埋設物情報の誤差を一覧で示す（表 2-16）。

表 2-16 精度検証結果の比較

都市	精度評価項目	台帳図・GIS データ	地中レーダー探査
札幌市	捕捉率（台帳：記載有/露出） （探査：検出/露出）	90.0%	100%
	平均誤差（平面位置）	0.271m	0.055m
	平均誤差（深度）	0.133m	0.066m
	標準偏差 2 σ （平面位置）	0.153m	0.080m
	標準偏差 2 σ （深度）	0.180m	0.095m
広島市	捕捉率（台帳：記載有/露出） （探査：検出/露出）	55.5%	100%
	平均誤差（平面位置）	0.384m	0.050m
	平均誤差（深度）	0.366m	0.065m
	標準偏差 2 σ （平面位置）	0.381m	0.085m
	標準偏差 2 σ （深度）	0.231m	0.141m
福岡市	捕捉率（台帳：記載有/露出） （探査：検出/露出）	33.3%	91.7%
	平均誤差（平面位置）	0.192m	0.054m
	平均誤差（深度）	0.165m	0.097m
	標準偏差 2 σ （平面位置）	0.235m	0.103m
	標準偏差 2 σ （深度）	0.303m	0.120m

台帳図・GIS データは、試掘調査結果から未記載の管路が存在し、試掘箇所においては福岡市では露出した埋設物の約 7 割、広島市では約 5 割の情報が台帳図・GIS データから知ることができなかった。

平均誤差は平面位置で 19 cm～38 cm 程度、深度で 13 cm～36 cm 程度あることが確認された。また、誤差の標準偏差（2 σ ）は、平面位置で 15 cm～38 cm 程度、深度で 18 cm～30 cm 程度あることからばらつきが大きく、場所によって精度の信頼性が大きく異なる。

広島市、福岡市で台帳図・GISデータの捕捉率が低下した理由は、台帳図に記載されていない管路や残置物が露出したためである。また、広島市で誤差が大きいのは、台帳図未記載管（有姿除却）を下越する線形変化の情報が台帳図に記されていないなかったこと、年代の古い管路の情報の精度が低かったことが影響している。地中レーダー探査は、台帳図に未記載の管路や防護コンクリート、残置物（矢板）を検出できた。一部未検出の残置物（コンクリート）が確認されたが、91%～100%の検出率であった。

平均誤差が平面位置で5 cm～6 cm程度、深度で7～10 cm程度であることが確認され、台帳図・GISデータと比較すると、平面位置で1/3～1/6程度、深度で1/2～1/3程度に誤差を縮小することができた。また、誤差の標準偏差（ 2σ ）は、平面位置で8 cm～10 cm程度、深度で10 cm～14 cm程度で、台帳図・GISデータと比較すると、ばらつきの大きさは平面位置で1/3程度、深度で1/2程度に抑えることができた。

2) 舗装構成の地中レーダー探査結果への影響

【凍上抑制層の影響確認】

札幌市で用いられている凍上抑制層は、地表面温度が氷点下に達しても、地盤の凍結を浅い部分に留める効果を持ち、透水性の高い材料を用いて構成される。試掘調査結果との比較から、凍上抑制層の存在によって、マイクロ波の極度な減衰等の反射波への影響はみられず、解析精度の低下は確認されなかった。

【アスファルト舗装厚の影響確認】

広島市は車道部において試掘を行い、アスファルト舗装が20 cmと極めて厚いことが確認された。一般的な設計値の4倍あったため、マイクロ波の透過速度に影響（一般的な設計値の舗装構成の場合より見かけの検知深度が浅くなる）を与えるが、アスファルト舗装下は砂が主体の管路埋戻し材（含水率が高い場合、一般的な舗装構成で用いる砕石層よりも見かけの検知深度が深くなる可能性）で構成されており、相殺されて影響が小さく抑えられたものとする。

【深度誤差が大きい箇所の舗装構成確認】

福岡市において一部の埋設管の深度誤差が大きいことを確認した。アスファルト舗装、砕石路盤層は周囲の他の埋設物と同じ条件であるため、管路周辺の埋戻し材（砂）が影響（含水率が周囲より高い場合、見かけの検知深度が深くなる）している可能性がある。



図 2-33 舗装構成の特徴、地下水湧出の有無

3) 探査の障害となる条件

【ロードヒーティング設備の影響】

札幌市では、路面凍結や積雪を防止するために、ロードヒーティングを舗装下に設置している箇所が多く存在する。ロードヒーティング設備は電熱式又は温水式で、電熱線や温水管が張り巡らされるほか、設置において鉄筋金網が用いられるため、マイクロ波の地中への透過を遮る。本整備実証箇所においても歩道部においてロードヒーティング設備の設置された箇所があり、地中レーダー探査によってその位置は明確に捉えることができた（図 2-34）が、ロードヒーティング設備より深部に埋設されている管路の検出はできなかった。

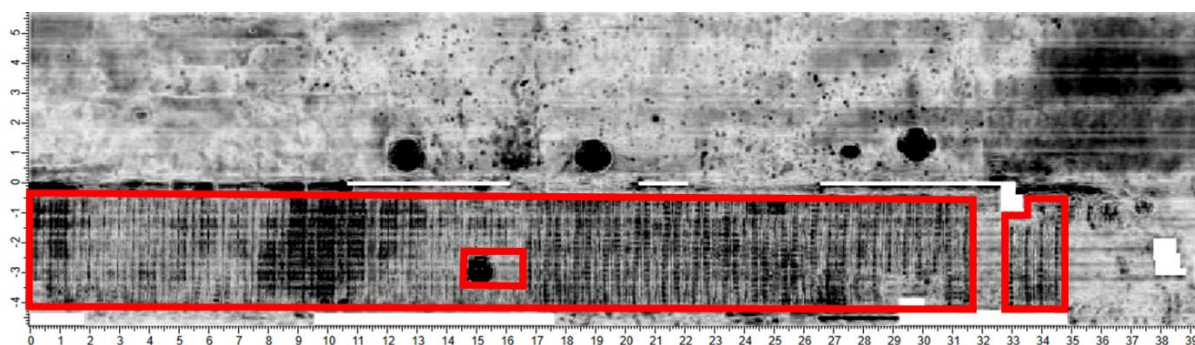


図 2-34 ロードヒーティング設備のデータ事例（深度 15 cm 付近平面表示、赤囲み内）

【防護コンクリート版の影響】

埋設管の防護を行うためのコンクリート版が広島市、福岡市で露出した。広島市と福岡市のデータ事例を示す。広島市も福岡市も防護コンクリート版下までマイクロ波が透過している（図 2-35）ため鉄筋が密に配置されていないコンクリート版と考えられる。ただし、福岡市については防護版下の埋設管の反射が極めて弱く、これは防護版の上に埋設されていた埋設管により遮られた（図 2-36）ことが影響していると推測される。

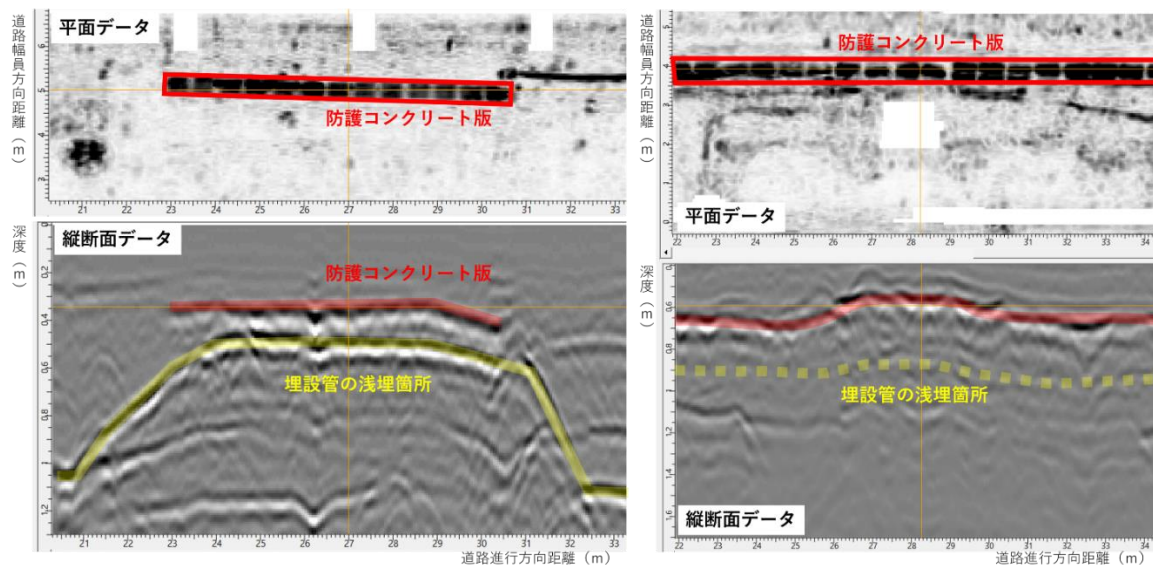


図 2-35 防護コンクリート版と下方の埋設物の反射信号例（左：広島市、右：福岡市）



図 2-36 防護コンクリート版と埋設物の敷設状況（左：広島市、右：福岡市）

防護コンクリート版は鉄筋が密に配置されている場合はマイクロ波の透過を遮るため、下部に埋設されている管路の検出はできなくなる。その場合、対象埋設管のうち防護版が設置されていない部分の反射信号等を踏まえて、防護コンクリート版の下部の敷設状況を推定することになる。

4) 地中レーダー探査の限界

【反射波が得られにくい埋設物】

地中レーダー探査は地中に向かってマイクロ波を照射し、電気的性質の異なる物質の境界面で反射した信号を受信し、対象物の位置や深さを検出する技術である。そのため、電気的性質の近い物質同士の境界面では明確な反射信号が得られない。たとえば、路盤内にコンクリート塊が埋没している場合等が一例である。本業務では福岡市の試掘箇所において露出した残置物が未検出であった。

【管種特定精度の限界】

地中レーダー探査は材質を問わず埋設物の検出が可能であるが、反面、材質を特定することはできない。マンホールやハンドホール等の地表から企業者が特定できる構造物との接続を面的に取得したデータから確認するとともに、台帳情報を踏まえることで管種の特定を行うことが可能となる。したがって、マンホールやハンドホール等が近くに存在しない場合や、埋設物の輻輳によって管路の連続的な繋がりを追うことが困難な場合は、管種の特定精度が低下する。

【台帳図に記載のない埋設物情報の限界】

地中レーダー探査で検出可能なことは、埋設物が存在する位置の平面及び深度の情報である。埋設管の管径や構造物の厚さ等は地中レーダー探査では特定できず、台帳情報等を基に 3D 形状や属性情報の付与を行っている。そのため、台帳図に記載のない埋設管や残置物を検出した場合、平面位置や埋設深さを把握することはできるが、管路の大きさや残置物の厚さ(矢板や杭は根入れ深さ)は確認できない。

5) 用途に応じた位置情報の信頼性

埋設物情報は、都市計画や再開発、インフラの整備や維持管理等に活用される。これらの用途に3D都市モデル（地下埋設物）の適用を考える際には、それぞれの用途に応じた要求精度が必要であるが、情報源の位置情報の信頼性を考慮する必要があると考える。

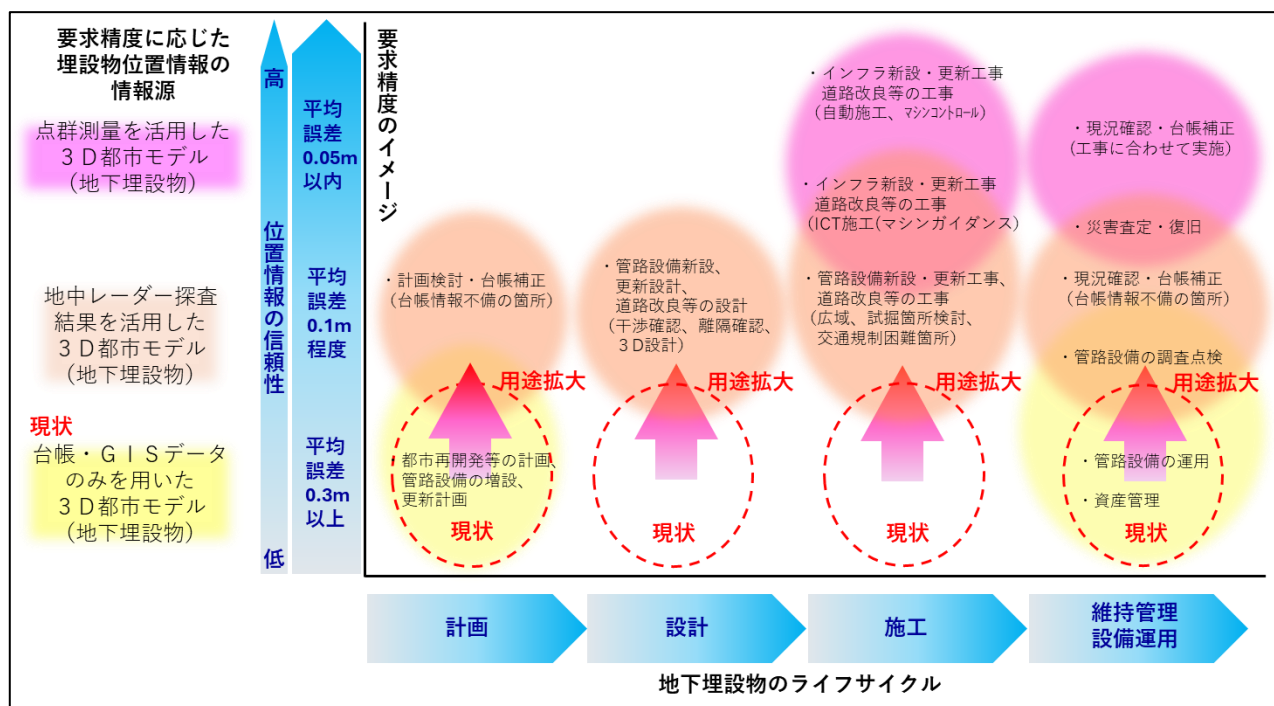


図 2-37 用途に応じた位置情報の信頼性のイメージ

図 2-37 用途に応じた位置情報の信頼性のイメージは、地下埋設物のライフサイクル（計画・設計・施工・維持管理）における埋設物情報の活用の現状と、将来的な用途拡大で想定される「位置情報の信頼性」の関係を示したものである。

現状の3D都市モデル（地下埋設物）の多くは、「台帳図・GISデータ」に基づいて整備されており、本業務の精度検証で平均誤差が0.3m以上あったことが確認されたように、位置情報の信頼性が十分でない場合がある。

インフラの更新設計における干渉確認や、施工時のマシンガイダンス等の高度な利用には、より信頼性の高い情報源で作成した位置精度の高い三次元の位置情報が求められる。地中レーダー探査等を活用した「平均誤差 0.1m 程度」の情報源に基づく3D都市モデル（地下埋設物）や、試掘・施工時の点群測量による「平均誤差 0.05m 以内」の高精度な情報源に基づく3D都市モデル（地下埋設物）を整備することで、図中の矢印が示す通り、設計・施工・維持管理の各段階で用途の拡大が可能になると考えられる。

したがって、各フェーズの要求精度に見合った最適な取得技術（地中レーダー探査、点群測量等）を選択し、効率的に3D都市モデルを整備・更新していく仕組み作りが重要である。

3. レーダー探査等を活用した地下埋設物モデルの整備実証

3-1. 目的

本実証は、地中レーダー探査を活用した非破壊調査技術と高精度な地上測量技術を組み合わせ、3D 都市モデル（地下埋設物）を標準仕様にに基づき整備することを主目的とする。従来の台帳図や GIS データに依存した 3D 都市モデル（地下埋設物）では、管路やケーブルのルート形状の簡略化や位置誤差が発生し、都市インフラ管理における位置精度や信頼性に課題があった。本実証では、地中レーダー探査の解析結果から得た三次元情報に基づき、LOD 仕様に準拠した立体化、属性情報の構造化、CityGML 符号化、地上部の 3D 都市モデル（交通（道路）、都市設備、植生）との統合を通じて、地中レーダー探査結果を活用した 3D 都市モデル（地下埋設物）の整備プロセスを体系化する。また、整備過程で発生する課題（位置整合性、ネットワーク接続性等）に対する解決手法を検討し、今後の地中レーダー探査結果を活用した 3D 都市モデル（地下埋設物）の整備に資する技術的指針を提示する。

3-2. 方法

本実証では、地中レーダー探査結果を活用した 3D 都市モデル（地下埋設物）の整備を以下の手順で実施した。

1. 座標基準の確立
 - 4 級基準点測量及び水準測量により、地上部の 3D 都市モデル（交通（道路）、都市設備、植生）と、地下の 3D 都市モデル（地下埋設物）の統合に必要な絶対座標系を設定した
2. 3D 都市モデル（交通（道路）、都市設備、植生）の高精度整備
 - 地下埋設物モデルの位置参照の基準となる 3D 都市モデル（交通（道路）、都市設備、植生）を構築した。地上レーザー計測で高精度点群データを取得し、そのデータから道路構造、都市設備、植生を標準仕様にに基づき LOD2～LOD3 のモデルを作成した
3. 地下埋設物の非破壊調査
 - 地中レーダー探査を実施し、管路、ケーブル、構造物等の地下埋設物について、三次元位置とルート形状を取得した。探査結果は地盤高を基準とした絶対座標系へ変換した
4. 地中レーダー探査結果の立体化及び属性情報の付与
 - 探査結果から管路、ケーブル等の中心線を抽出し、探査ブロック等で分割されている中心線を同一の管路ごとに接続した。さらに、曲線補間によるネットワーク構造を再現した
 - 地中レーダー探査の反射波形のみでは管路の管径や構造物の詳細形状を特定できないため、台帳情報と照合し、LOD3（管路・ケーブル）、LOD2（マンホール）の形状へ立体化した。併せて、確認できた属性情報を幾何オブジェクトに付与した
5. CityGML への符号化
 - 3D 都市モデル標準製品仕様にに基づき地下埋設物モデルを CityGML に符号化し、属性情報の整合性、ネットワーク接続性、交差部の品質検証を実施した

6. 課題抽出と対応策検討

- 整備過程で発生する課題（位置差異、属性付与の不整合、モデル接続性等）を分析し、調整手法や対応策を提案した

3-3. 内容

3-3-1. 3D 都市モデル（交通（道路）、都市設備、植生）の整備

地下埋設物の位置特定は、従来、既存の台帳図や GIS データに示された地上部の特徴点からの相対的な距離や深さに基づく推定、あるいは座標値を用いる方法が一般的であった。しかし、これらの方法は台帳図や GIS データの位置精度に大きく依存し、精度には限界がある。地下埋設物の位置特定精度を向上させるためには、地上部の座標情報を基準とした絶対座標系による管理が不可欠である。

本実証では、基準点測量、水準測量、地上三次元点群測量に基づく高精度な位置・高さ情報を取得し、3D 都市モデル（交通（道路）、都市設備、植生）を整備した。一貫した座標系で管理することにより、地上部と地下埋設物の位置関係の整合性が確保された。

地上部のモデルの詳細度（LOD）は、地下埋設物の位置参照の精度に直接影響する重要な要素である。LOD1 や LOD2 では高さ情報が簡略化され、地盤面の起伏や道路構造の特徴が十分に表現されないため、地下埋設物の位置特定に必要な参照点が不足する。一方、LOD3 では歩車道間の段差や中央分離帯等、道路内の詳細な形状が三次元で表現されるため、地下埋設物の位置特定に必要な特徴点が大幅に増える。対象都市ごとに異なる詳細度のモデルを整備し、精度の差異を分析することで、地下埋設物の位置参照の精度への影響を確認する。

1) 作業内容

3D 都市モデル（交通（道路）、都市設備、植生）の整備における作業内容を表 3-1 に示す。

表 3-1 3D 都市モデル（交通（道路）、都市設備、植生）整備の作業内容

作業名	作業量・内容		
都市名	札幌市	広島市	福岡市
基準点測量（4 級基準点）	10 点	13 点	13 点
水準測量（4 級水準測量）	1.8km	1.2km	1.5km
地上三次元点群測量	約 2,000m ²	約 2,000m ²	約 2,000m ²
3D モデル化	道路 LOD3	道路 LOD2	道路 LOD3
CityGML 符号化			都市設備 LOD3
品質検査			植生 LOD3



図 3-1 3D 都市モデル（交通（道路）、都市設備、植生）

表 3-2 整備属性一覧（交通（道路）、都市設備、植生）

地物名	区分	説明	札幌市	広島市	福岡市
tran:Road		道路			
	主題	データ作成日	○	○	○
	主題	分類	○	○	○
	空間	lod1 面	○		○
	空間	lod2 面		○	
	空間	lod3 面	○		○
	関連役割	交通補助領域	○	○	○
	関連役割	交通領域	○	○	○
	関連役割	データ品質属性	○	○	○
	主題	LOD1 幾何オブジェクト原典資料	○		○
	主題	LOD2 幾何オブジェクト原典資料		○	
	主題	LOD3 幾何オブジェクト原典資料	○		○
	主題	主題属性原典資料	○	○	○
	主題	LOD2 アピアランス原典資料		○	
	主題	LOD3 アピアランス原典資料	○		○
	主題	詳細 LOD	○		○
	関連役割	公共測量品質属性	○	○	○
	主題	LOD1 地図情報レベル	○	○	○
	主題	LOD2 地図情報レベル		○	
	主題	LOD3 地図情報レベル	○		○
	主題	LOD1 公共測量成果種類	○		○
	主題	LOD2 公共測量成果種類		○	
	主題	LOD3 公共測量成果種類	○		○

表 3-3 整備属性一覧（交通（道路）、都市設備、植生）

地物名	区分	説明	札幌市	広島市	福岡市
tran:TrafficArea		交通領域			
	主題	データ作成日	○	○	○
	主題	機能	○	○	○
	空間	lod2 面		○	
	空間	lod3 面	○		○
tran:AuxiliaryTrafficArea		交通補助領域			
	主題	機能	○	○	○
	空間	lod2 面		○	○
	空間	lod3 面	○		○
frn:CityFurniture		都市設備			○
	主題	データ作成日			○
	主題	分類			○
	主題	機能			○
	空間	lod3 幾何			○
	関連役割	データ品質属性			○
	主題	LOD1 幾何オブジェクト原典資料			○
	主題	LOD3 幾何オブジェクト原典資料			○
	主題	主題属性原典資料			○
	主題	LOD3 アピアランス原典資料			○
	主題	詳細 LOD			○
	関連役割	公共測量品質属性			○
	主題	LOD3 地図情報レベル			○
	主題	LOD3 公共測量成果種類			○
veg:SolitaryVegetationObject		単独木			
	主題	データ作成日			○
	関連役割	データ品質属性			○
	主題	LOD1 幾何オブジェクト原典資料			○
	主題	LOD3 幾何オブジェクト原典資料			○
	主題	主題属性原典資料			○
	主題	LOD3 アピアランス原典資料			○
	関連役割	公共測量品質属性			○
	主題	LOD3 地図情報レベル			○
	主題	LOD3 公共測量成果種類			○
	主題	分類			○

表 3-4 整備属性一覧（交通（道路）、都市設備、植生）

地物名	区分	説明	札幌市	広島市	福岡市
veg:SolitaryVegetationObject	主題	樹高			○
	空間	lod3 幾何			○
veg:PlantCover		植被			
	主題	データ作成日			○
	関連役割	データ品質属性			○
	主題	LOD1 幾何オブジェクト原典資料			○
	主題	LOD3 幾何オブジェクト原典資料			○
	主題	主題属性原典資料			○
	主題	LOD3 アピアランス原典資料			○
	関連役割	公共測量品質属性			○
	主題	LOD3 地図情報レベル			○
	主題	LOD3 公共測量成果種類			○
	主題	分類			○
	主題	平均高			○
	空間	lod3 面			○

2) 課題と対応方針

3D 都市モデル（交通（道路）、都市設備、植生）と 3D 都市モデル（地下埋設物）を一元的に可視化する際、両モデル間の位置整合性は極めて重要である。特にマンホール等地上で視認可能な地物は、地上部のモデルと地下部のモデルで同一位置にあることが理想である。本実証においては、地中レーダー探査結果を活用した地下部の 3D 都市モデル（地下埋設物）と、地上三次元点群測量から作成した地上部の 3D 都市モデル（交通（道路））におけるマンホール等の位置を比較した結果、水平位置で数センチから十数センチ、標高で数センチ程度の差異が確認された。

この差異は、地中レーダー探査結果を活用した 3D 都市モデル（地下埋設物）が実際の道路面に忠実な高精度モデルである一方、地上部の 3D 都市モデル（交通（道路））は、モデル整備の過程で点群からサーフェスを作成する際にスムージングされていることに起因する。

地上部と地下埋設物のモデルの整合性を確保するためには、マンホール等の地上部と関連性の高いオブジェクトについては、必要に応じて 3D 都市モデル（交通（道路））のサーフェス形状を、3D 都市モデル（地下埋設物）のマンホールの位置に合わせてジオメトリを加工することも検討する。

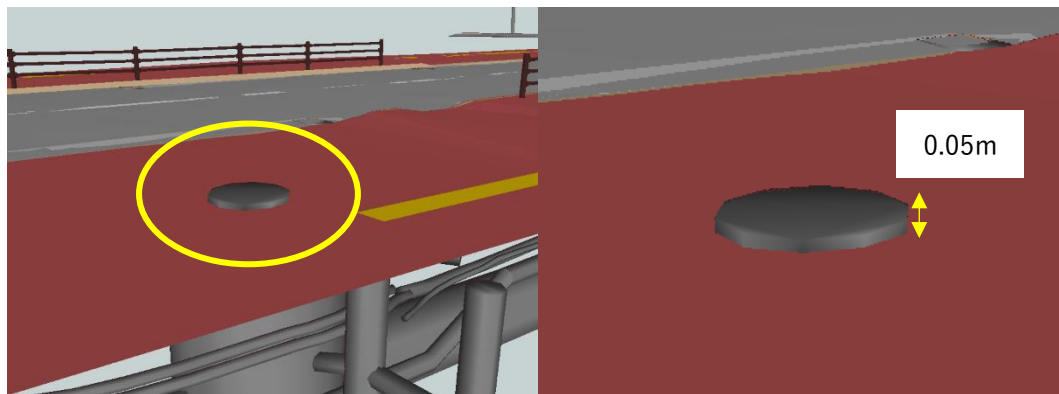


図 3-2 道路 LOD3 の地盤面に浮き出たマンホール上面

3-3-2. 3D 都市モデル（地下埋設物）の整備

地下埋設物の位置情報は、従来、台帳図や GIS データに基づき管理されてきたが、これらは図面作成やデータ化の過程で形状が簡略化され、位置精度に課題を抱えている。本実証では、地中レーダー探査による非破壊計測技術を活用し、地下埋設物の実測データを取得するとともに、既存台帳情報と統合し、3D 都市モデル標準製品仕様に準拠した地下埋設物モデルを整備する。さらに、地上部の高精度な座標情報と統合することで、従来の相対的な位置推定から脱却し、絶対座標による正確な位置管理が可能となる。

1) 作業内容

- 地中レーダー探査
 - 非破壊で地下埋設物の位置・ルート形状を取得
- 属性情報抽出
 - 既存の台帳情報等から属性情報を抽出
- 立体化
 - 地中レーダー探査結果と台帳情報を統合、管路・ケーブル・マンホールを立体化、中心線接続処理によるネットワーク構造の再現、管路・ケーブル等：LOD3、マンホール等：LOD2
- 主題属性付与
 - 台帳情報に基づき主題属性を構造化しモデルに付与
- CityGML への符号化
 - 標準製品仕様に基づき 3D モデルを CityGML に符号化、目視確認（位置精度、属性、接続性、交差点、地上部との位置関係）

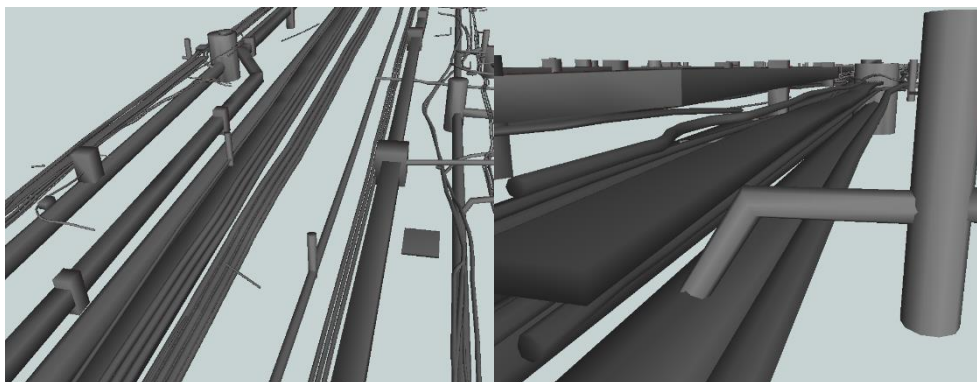


図 3-3 3D 都市モデル（地下埋設物）

表 3-5 整備属性一覧（地下埋設物）

地物名	区分	説明	札幌市	広島市	福岡市
gen:GenericCityObject		汎用都市オブジェクト			
	主題	名称	○	○	○
	主題	データ作成日	○	○	○
	関連役割	汎用属性セット	○	○	○
	関連役割	汎用属性（文字列）	○	○	○
	空間	lod3 幾何	○	○	○
uro:WaterPipe		管路（水道）			
	主題	データ作成日	○	○	○
	関連役割	汎用属性（文字列）	○	○	○
	空間	lod3 幾何	○	○	○
	関連役割	データ品質属性	○	○	○
	主題	LOD1 幾何オブジェクト原典資料	○	○	○
	主題	LOD3 幾何オブジェクト原典資料	○	○	○
	主題	主題属性原典資料	○	○	○
	関連役割	施設識別属性	○	○	○
	主題	識別子	○	○	○
	主題	都道府県	○	○	○
	主題	市区町村	○	○	○
	主題	事業者区分	○	○	○
	主題	埋設年度	○	○	○
	主題	確からしさ	○	○	○
	主題	管渠材質の種類	○	○	○
	主題	内径	○	○	○
	主題	外径	○	○	○

表 3-6 整備属性一覧（地下埋設物）

地物名	区分	説明	札幌市	広島市	福岡市
uro:SewerPipe		管路（下水道）			
	主題	データ作成日	○	○	○
	関連役割	汎用属性（文字列）	○	○	○
	空間	lod3 幾何	○	○	○
	関連役割	データ品質属性	○	○	○
	主題	LOD1 幾何オブジェクト原典資料	○	○	○
	主題	LOD3 幾何オブジェクト原典資料	○	○	○
	主題	主題属性原典資料	○	○	○
	関連役割	施設識別属性	○	○	○
	主題	識別子	○	○	○
	主題	都道府県	○	○	○
	主題	市区町村	○	○	○
	主題	事業者区分	○	○	○
	主題	埋設年度	○	○	○
	主題	確からしさ	○	○	○
	主題	管渠材質の種類	○	○	○
	主題	内径	○	○	○
	主題	外径	○	○	○
uro:OilGasChemicalsPipe		管路（ガス）			
	主題	データ作成日	○	○	○
	関連役割	汎用属性（文字列）	○	○	○
	空間	lod3 幾何	○	○	○
	関連役割	データ品質属性	○	○	○
	主題	LOD1 幾何オブジェクト原典資料	○	○	○
	主題	LOD3 幾何オブジェクト原典資料	○	○	○
	主題	主題属性原典資料	○	○	○
	関連役割	施設識別属性	○	○	○
	主題	識別子	○	○	○
	主題	都道府県	○	○	○
	主題	市区町村	○	○	○
	主題	事業者区分	○	○	○
	主題	埋設年度	○	○	○
	主題	確からしさ	○	○	○
	主題	管渠材質の種類	○	○	○

表 3-7 整備属性一覧（地下埋設物）

地物名	区分	説明	札幌市	広島市	福岡市
uro:OilGasChemicalsPipe	主題	長辺の内径	○	○	○
	主題	長辺の外径	○	○	○
uro:Pipe		管路（その他）			
	主題	データ作成日	○	○	○
	関連役割	汎用属性（文字列）		○	
	空間	lod3 幾何	○	○	○
	関連役割	データ品質属性	○	○	○
	主題	LOD1 幾何オブジェクト原典資料	○	○	○
	主題	LOD3 幾何オブジェクト原典資料	○	○	○
	主題	主題属性原典資料	○	○	○
	関連役割	施設識別属性	○	○	○
	主題	識別子	○	○	○
	主題	都道府県	○	○	○
	主題	市区町村	○	○	○
	主題	事業者区分	○	○	○
uro:Duct		保護設備（トラフ等）			
	主題	データ作成日	○	○	○
	関連役割	汎用属性（文字列）	○	○	○
	空間	lod3 幾何	○	○	○
	関連役割	データ品質属性	○	○	○
	主題	LOD1 幾何オブジェクト原典資料	○	○	○
	主題	LOD3 幾何オブジェクト原典資料	○	○	○
	主題	主題属性原典資料	○	○	○
	関連役割	施設識別属性	○	○	○
	主題	識別子	○	○	○
	主題	都道府県	○	○	○
	主題	市区町村	○	○	○
	主題	事業者区分	○	○	○
	主題	埋設年度	○	○	○
	主題	確からしさ	○	○	○
	主題	管渠材質の種類	○	○	○
	主題	幅	○	○	○
uro:TelecommunicationsCable		通信ケーブル			
	主題	データ作成日	○	○	○

表 3-8 整備属性一覧（地下埋設物）

地物名	区分	説明	札幌市	広島市	福岡市
uro:TelecommunicationsCable	空間	lod3 幾何	○	○	○
	関連役割	データ品質属性	○	○	○
	主題	LOD1 幾何オブジェクト原典資料	○	○	○
	主題	LOD3 幾何オブジェクト原典資料	○	○	○
	主題	主題属性原典資料	○	○	○
	関連役割	施設識別属性	○	○	○
	主題	識別子	○	○	○
	主題	部分 ID	○	○	○
	主題	枝番	○	○	○
	主題	都道府県	○	○	○
	主題	市区町村	○	○	○
	主題	事業者区分	○	○	○
	主題	埋設年度	○	○	○
	主題	確からしさ	○	○	○
	主題	管渠材質の種類	○	○	○
uro:ElectricityCable		電気ケーブル			
	主題	データ作成日	○	○	○
	関連役割	汎用属性（文字列）	○	○	○
	空間	lod3 幾何	○	○	○
	関連役割	データ品質属性	○	○	○
	主題	LOD1 幾何オブジェクト原典資料	○	○	○
	主題	LOD3 幾何オブジェクト原典資料	○	○	○
	主題	主題属性原典資料	○	○	○
	関連役割	施設識別属性	○	○	○
	主題	識別子	○	○	○
	主題	部分 ID	○	○	○
	主題	枝番	○	○	○
	主題	都道府県	○	○	○
	主題	市区町村	○	○	○
	主題	事業者区分	○	○	○
	主題	埋設年度	○	○	○
	主題	確からしさ	○	○	○
	主題	管渠材質の種類	○	○	○

表 3-9 整備属性一覧（地下埋設物）

地物名	区分	説明	札幌市	広島市	福岡市
uro:Cable		ケーブル（その他）			
	主題	データ作成日			○
	関連役割	汎用属性（文字列）			○
	空間	lod3 幾何			○
	関連役割	データ品質属性			○
	主題	LOD1 幾何オブジェクト原典資料			○
	主題	LOD3 幾何オブジェクト原典資料			○
	主題	主題属性原典資料			○
	関連役割	施設識別属性			○
	主題	識別子			○
	主題	部分 ID			○
	主題	枝番			○
	主題	都道府県			○
	主題	市区町村			○
	主題	事業者区分			○
	主題	埋設年度			○
	主題	確からしさ			○
	主題	管渠材質の種類			○
uro:Manhole		マンホール			
	主題	データ作成日	○	○	○
	関連役割	汎用属性（文字列）	○	○	○
	空間	lod2 幾何	○	○	○
	空間	lod3 幾何	○	○	○
	関連役割	データ品質属性	○	○	○
	主題	LOD1 幾何オブジェクト原典資料	○	○	○
	主題	LOD2 幾何オブジェクト原典資料	○	○	○
	主題	LOD3 幾何オブジェクト原典資料	○	○	○
	主題	主題属性原典資料	○	○	○
	関連役割	施設識別属性	○	○	○
	主題	識別子	○	○	○
	主題	都道府県	○	○	○
	主題	市区町村	○	○	○
	主題	事業者区分	○	○	○

表 3-10 整備属性一覧（地下埋設物）

地物名	区分	説明	札幌市	広島市	福岡市
uro:Handhole		ハンドホール			
	主題	データ作成日	○	○	○
	関連役割	汎用属性（文字列）	○	○	○
	空間	lod2 幾何	○	○	○
	空間	lod3 幾何		○	○
	関連役割	データ品質属性	○	○	○
	主題	LOD1 幾何オブジェクト原典資料	○	○	○
	主題	LOD2 幾何オブジェクト原典資料	○	○	○
	主題	LOD3 幾何オブジェクト原典資料		○	○
	主題	主題属性原典資料	○	○	○
	関連役割	施設識別属性	○	○	○
	主題	識別子	○	○	○
	主題	都道府県	○	○	○
	主題	市区町村	○	○	○
	主題	事業者区分	○	○	○

2) 課題と対応方針

【地中レーダー探査では確認できない多条管の合流・分岐モデル化】

地中レーダー探査では、多条管（複数の管路を平面的かつ重層的に近接して敷設する管路）の条数や段数、管崩し等の条数・段数の変化を識別することは解像度等の限界があり難しい。

そこで、本整備実証では、地中レーダー探査で確認が困難な箇所について台帳図から接続を読み取り、立体化を実施した。

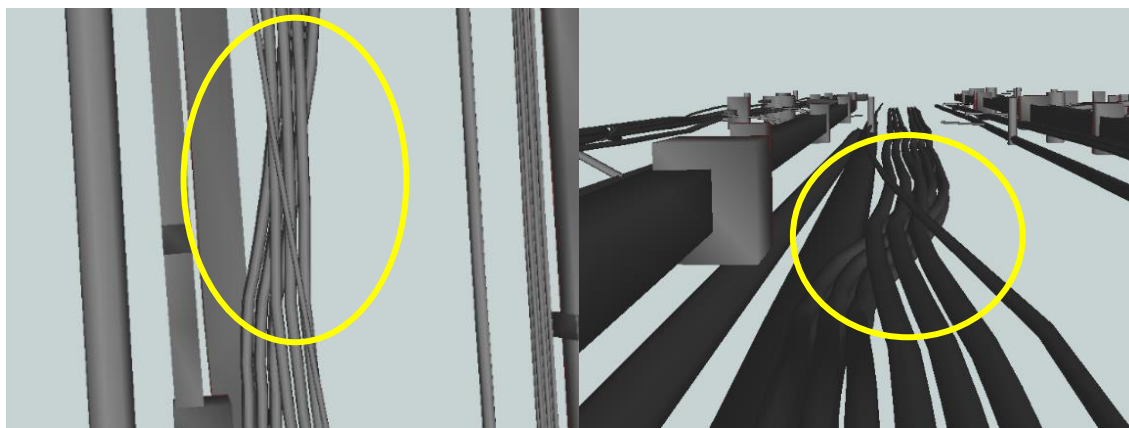


図 3-4 台帳図に基づき多条管の接続を再現

また、推定によりオブジェクトを作成した部分については、標準製品仕様の品質属性において「推定」の区分を付与し、地中レーダー探査結果と台帳図に基づく情報との取得精度の違いを識別できるようにした。ただし、複雑に変化するケーブル等、台帳図からも接続が読み取れない部分については、根拠のない立体化は成果の信頼性に影響を及ぼすことから、無理に接続を行わないこととした。未接続箇所が残った点については今後の課題とする。

【円形管の品質要求への対応】

円形管モデルの断面を現実の形状に近づけて円形で作成すると、面を構成する頂点間の距離が 0.01m 以下になる部分が発生する。これは、3D 都市モデル標準製品仕様書で定められている品質要求の論理一貫性 L07 に不合格となる。そこで、本実証では、断面の頂点間隔を 0.01m より大きく調整して立体化した。

円形管モデルの断面は管径に関わらず、隣接する接続管との間に隙間が生じないように、断面に十分な頂点を配置して密着させる必要がある。しかし、断面に頂点を多く配置すると、管の側面にも同様に多くの頂点が必要となり、さらに管に曲がりがある場合は、曲線に沿ってさらに細かい頂点が発生する。この結果、頂点間隔が 0.01m 以内となる部分が発生し、エラーが生じやすくなる。

このため、極力、円形管モデルの断面形状の頂点数を減らし、側面や曲がり部分での微小な頂点の発生を抑えることで、頂点間隔 0.01m 以内によるエラーを防止する必要がある。（下図）

しかしながら、品質要求は満たしているものの、円形管モデルの断面は現実の形状とは異なり、多角形になってしまう。詳細な形状の再現性については、今後の課題とする。

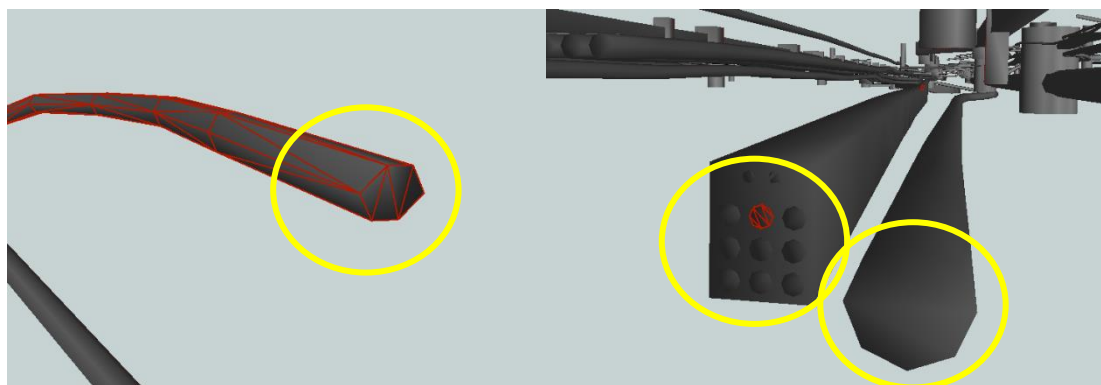


図 3-5 断面形状を簡略化した円形管モデル

3-3-3. 地下埋設物の埋設深さと位置の整合性評価

地中レーダー探査結果を活用した新たな手法で整備した地下埋設物モデルの再現性と位置精度を確認し、将来的に 3D 都市モデル（地下埋設物）が維持管理に活用できるかを検証する。

地中レーダー探査結果の「位置及び深度の精度」については、試掘調査結果との精度検証や、台帳図・GIS データを用いた 3DCAD モデル（地下埋設物）との比較を行い、すでに検証済みである。

ここでは、地中レーダー探査結果を活用した 3D 都市モデル（地下埋設物）の再現性を、地上部の 3D 都市モデル（交通（道路））の詳細度による違い（LOD1 と LOD2 または LOD3 の比較）に着目して、地下埋設物の

維持管理に活用可能な精度であるかを評価する。

1) 埋設深さの再現性

地下埋設物の埋設深さは、地下埋設物の維持管理や施工計画において重要な指標であり、従来は台帳図に記載された値に依存してきたが、その精度には課題がある。特に、道路舗装面の経年変化による地盤面の高さの変化がリアルタイムに台帳図へ反映されないため、実際の埋設深さと乖離が生じる可能性がある。

この課題に対し、本検証では新たに整備した点群測量に基づく地上部の 3D 都市モデル（交通（道路））を活用し、どの詳細度であれば地下埋設物の位置や埋設深さを正確に再現できるかを検証したものである。

3D 都市モデル（交通（道路））の LOD1 や LOD2（以後、道路 LOD1、道路 LOD 2）は標準仕様に基づき高さ情報を持たない。一方、3D 都市モデル（交通（道路））の LOD3（以後、道路 LOD3）は高さ情報を有しているため、3D 都市モデル（地下埋設物）との位置整合性が高く、現実世界に近い条件で埋設深さの特定が可能である。

下図は、3D 都市モデル（交通（道路））と 3D 都市モデル（地下埋設物）を同一視点で表示したもので、左図は道路 LOD3、右図は道路 LOD2 を用いた表示であり、いずれも同一の 3D 都市モデル（地下埋設物）を重ね合わせている。

歩道等マウントアップされた部分に着目すると、道路 LOD3 では、歩道上に位置する 3D 都市モデル（地下埋設物）のマンホール上面が道路地盤面に正しく現れ、現実世界の状況を忠実に可視化できており、現実世界と同様に地下埋設物の埋設深さを計測することが可能である。

一方、道路 LOD2 は 2D 図形であるため、表示上の高さは GIS 等の可視化環境の地盤レイヤの高さ基準に左右される。このため、可視化環境における道路面の高さは地盤レイヤに基づくものであり、現実の舗装面の高さとは一致しない。この結果、3D 都市モデル（地下埋設物）のマンホール上面は地盤面に現れず、埋設深さの正確な把握が困難となる。

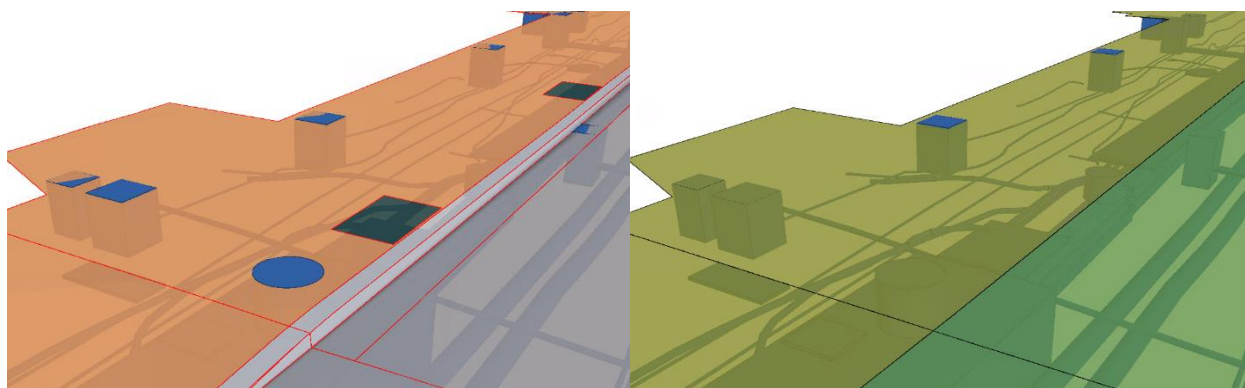


図 3-6 道路 LOD3（左図）と道路 LOD2（右図）の違いにおける地下埋設物の再現性の比較

2) 地下埋設物の位置特定精度

地下埋設物は、地上部の路面や地物との位置関係が維持管理において重要であるため、本検証では、3D 都市モデル（地下埋設物）と 3D 都市モデル（交通（道路））の位置関係を定量的に評価した。比較対象は、点群測量により新規整備した高精度な道路 LOD2 または道路 LOD3 と、過年度に整備され 3D 都市モデルの基本セットとして広く利用されている道路 LOD1 である。検証は以下の手順で実施した。なお、道路 LOD1 は、高さ情

報がない 2D データであるため、ここでは水平位置の精度のみを検証した。

【検証方法】

- 地中レーダー探査結果を活用した 3D 都市モデル（地下埋設物）上の検証点を基準とし、道路 LOD2・道路 LOD3 及び道路 LOD1 の特徴点（隅切り等）を抽出する
- 各検証点と、各 3D 都市モデル（交通（道路））上の特徴点との水平距離と方向角を計測する
- （道路 LOD1 での水平距離－道路 LOD2・道路 LOD3 での水平距離）により「距離差」を算出する
- （道路 LOD1 での方向角－道路 LOD2・道路 LOD3 での方向角）により方向角差を算出する
- 道路 LOD2・道路 LOD3 での水平距離を基準距離として、基準距離×sin（方向角差）により「横方向のズレ」を算出する
- $\sqrt{(\text{距離差})^2 + (\text{横方向のズレ})^2}$ により、「総合差」を算出する
- 算出した「距離差」、「横方向のズレ」、「総合差」の各値を集計し、以下の指標について整理した
 - ◇ 平均誤差：平均値
 - ◇ 最小誤差：最小値
 - ◇ 最大誤差：最大値
 - ◇ 標準偏差（ 2σ ）：標準偏差の 2 倍

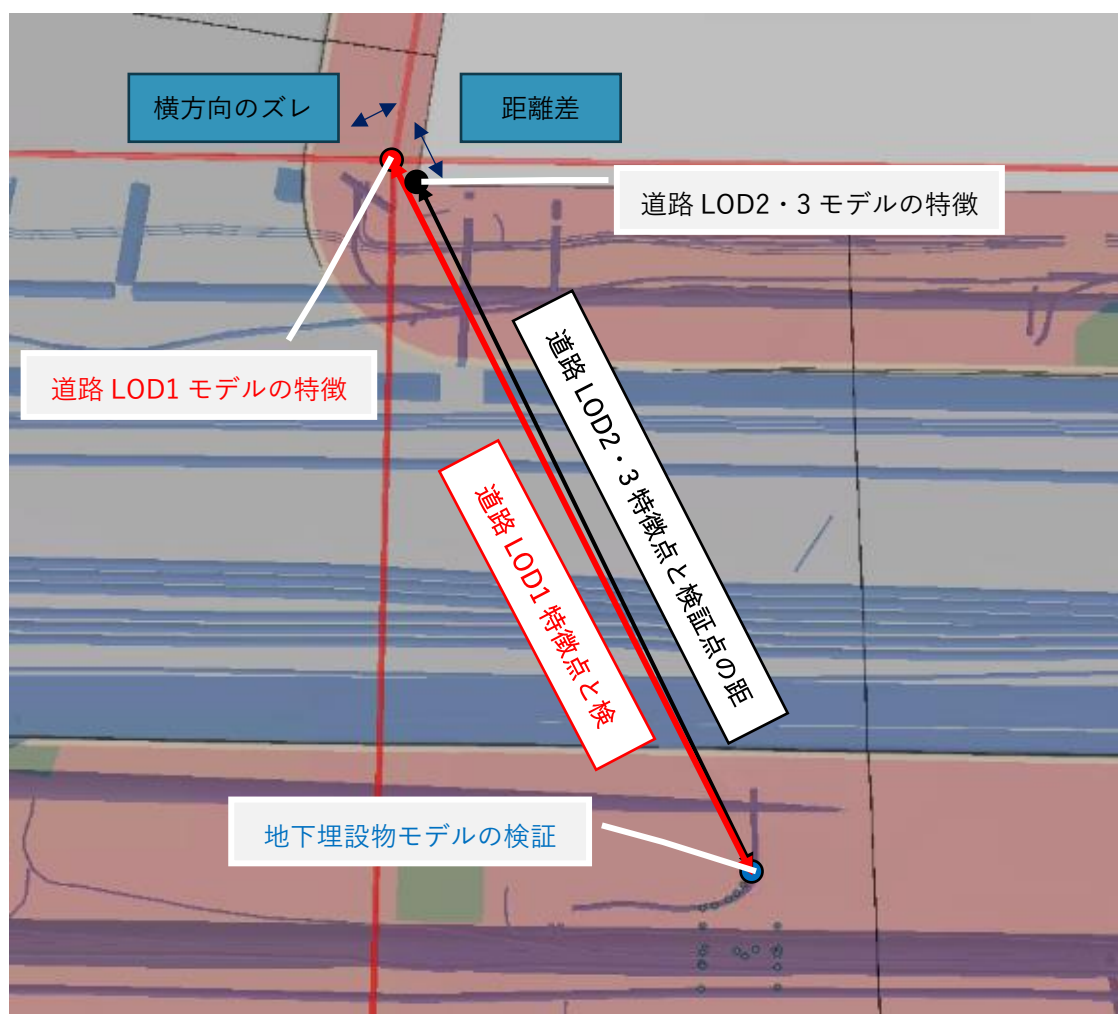


図 3-7 地下埋設物の位置特定精度の検証方法

【結果と考察】

本検証では、3D 都市モデル（地下埋設物）と道路 LOD2、道路 LOD3 及び道路 LOD1 の位置関係を定量的に評価した。評価指標として、距離差及び横方向のズレ、総合差を用いて、それぞれの平均誤差、最小誤差、最大誤差、そして、位置精度のばらつきを示す標準偏差（ 2σ ）といった項目で精度を評価した。

表 3-11 地下埋設物の位置特定精度の検証結果

都市	評価指標 評価項目	距離差	横方向のズレ	総合差 $\sqrt{(\text{距離差}^2 + \text{横方向のズレ}^2)}$
札幌市 (N=124)	平均誤差	1.368m	1.148m	1.990m
	最小誤差	0.540m	0.002m	1.369m
	最大誤差	2.037m	2.631m	2.776m
	標準偏差 2σ	0.885m	1.827m	1.005m

広島市 (N=116)	平均誤差	1.344m	0.413m	1.451m
	最小誤差	0.410m	0.066m	0.427m
	最大誤差	2.525m	0.905m	2.527m
	標準偏差 2σ	1.521m	0.661m	1.492m
福岡市 (N=222)	平均誤差	0.305m	0.194m	0.421m
	最小誤差	0.043m	0.000m	0.060m
	最大誤差	0.533m	0.489m	0.533m
	標準偏差 2σ	0.400m	0.371m	0.332m
全体 (N=462)	平均誤差	0.851m	1.011m	2.202m
	最小誤差	0.043m	0.000m	0.060m
	最大誤差	2.525m	2.631m	2.776m
	標準偏差 2σ	0.702m	0.653m	0.828m

- 札幌市
 - 距離差の平均は約 1.37m、横方向のズレは約 1.15m と比較的大きい。最大誤差は距離差で 2.04m、横方向で 2.63m に達しており、標準偏差も大きいことから、道路 LOD1 の位置精度にばらつきがある
- 広島市
 - 距離差の平均は約 1.34m、横方向のズレは約 0.41m で、札幌市より横方向のズレが小さい。最大誤差は距離差で 2.53m、横方向で 0.91m と札幌市より小さいが、距離差の標準偏差は大きい
- 福岡市
 - 距離差の平均は約 0.31m、横方向のズレは約 0.19m と、他都市に比べて顕著に小さい。最大誤差も距離差で 0.53m、横方向で 0.49m にとどまり、標準偏差も小さいことから、道路 LOD1 の精度が比較的高いことが確認された

【考察】

札幌市及び広島市では、道路 LOD1 の位置精度に大きなばらつきが見られた。これは、過年度整備時の基準データや測量精度等が影響している可能性がある。一方、福岡市では誤差が小さく、整備時の基準データや測量精度が高かったことが推察される。

地上部を基準とした地下埋設物の位置管理においては、福岡市の結果から、道路 LOD1 でも一定の位置精度を確保できる場合があるが、札幌市や広島市のように誤差が大きい場合、道路 LOD1 では十分な位置精度が確保できないことから、点群測量に基づく詳細度の高いモデルの導入が有効である。

特に、交差点部や複雑な道路構造を含むエリアでは、道路 LOD3 を活用することで、維持管理の信頼性向上が

期待できる。

道路 LOD1 の位置精度は地区ごとにばらつきがあり、誤差が大きい地区では、地下埋設物の位置特定時にリスクが高い。2m 以上の誤差がある場合、掘削位置の誤りや追加工事の発生につながるため、追加測量や他の台帳図等の情報も併用した位置特定、特定範囲を広げる等の対策が必要である。

また、3D 都市モデルを活用した地下埋設物の位置特定について、実務への適用を判断する場合は、新たに許容誤差基準を設ける必要があると考える。例えば、「掘削を目的とした場合、50cm 以内であれば実務上、許容可能」というような、用途に応じた精度区分の基準が不可欠である。

● 許容誤差基準（案）

- 50cm 以内→位置特定に十分利用可能
- 50cm～1m→位置特定可能だが補助情報が必要
- 1m 以上→位置誤差が大きく位置特定のリスクが高い

下表は、今回の実証で得られた道路 LOD1 モデルの位置精度の結果を、許容誤差基準（案）の誤差レベルごとに分類した分布を示している。地下埋設物の位置特定における地上部 3D 都市モデルの利用可能性やリスクを評価するための参考情報である。

表 3-12 許容誤差基準（案）の誤差レベルごとの分布（N=462）

誤差レベル	50cm 以内	50cm-1m	1m 以上
距離差	38.31%	22.73%	38.96%
横方向のズレ	74.24%	11.47%	14.29%
総合差	30.30%	24.03%	45.67%

3D 都市モデルを活用した地下埋設物の維持管理を考えた場合、道路 LOD1 は高さ情報を持たない 2D 形状であり、交差点部や複雑な道路構造では局所的な形状の不一致により、地下埋設物の位置特定の誤認が発生しやすく、識別の安定性に欠ける。道路 LOD2 も高さ情報を持たない 2D 形状であるが、車道と歩道がデータ構造上区別されているため、地下埋設物の位置特定の誤認は道路 LOD1 よりも発生しにくいと考えられる。これに対し、道路 LOD3 は道路エリア内を詳細な 3 次元構造で表現できるため、地下埋設物モデルとの位置関係においても整合性が保たれていることから、維持管理の信頼性向上に有効である。3D 都市モデルを活用した地下埋設物の維持管理への適用においては、精度基準の策定とモデルの詳細度の選択の指針が不可欠である。

表 3-13 地下埋設物の維持管理における 3D 都市モデル（交通（道路））の LOD 選定基準案

評価項目	判断基準・推奨 LOD
用途に応じた精度要求	<ul style="list-style-type: none"> ● 掘削や施工計画等、50cm 以内の位置精度が必要な場合 →道路 LOD3 を推奨 ● 概略位置確認や計画検討等、1m 程度で許容される場合 →道路 LOD2 または道路 LOD1 で可

対象エリアの道路形状・構造	<ul style="list-style-type: none"> ● 交差点部や段差・隅切りが多い複雑構造 → 道路 LOD3 を推奨 ● 直線道路や単純構造 → 道路 LOD1 または道路 LOD2 で可
既存データの精度と整備状況	<ul style="list-style-type: none"> ● 道路モデル等の地上部モデルの測量精度が高い → 道路 LOD1 でも一定の精度確保が可能 ● 誤差が大きい → 点群測量等による道路 LOD3 導入が望ましい
コスト・作業効率	<ul style="list-style-type: none"> ● 高い位置精度が必要なエリアは LOD3 を整備し、その他は LOD1/LOD2 で対応する「ハイブリッド運用」

3-3-4. 3D 都市モデル（地下埋設物）整備手順の従来手法との比較

3D 都市モデル（地下埋設物）の整備における従来手法と、地中レーダー探査を活用した手法の違いについて、技術的・実務的観点から比較検討する。特に、従来の台帳図や GIS データに基づく整備手法が抱える課題と、地中レーダー探査結果を活用した 3D 都市モデル整備がそれらの課題に対してどのような解決策を提供し、またどのような限界があるのかを明らかにする。

1) 従来手法の概要と課題

従来の 3D 都市モデル（地下埋設物）の整備では、主に紙媒体の台帳図や CAD データ、GIS データが活用されてきた。これらは事業者ごとに形式が異なり、統一されたデータ構造を持たないため、モデル整備作業において前処理の工数が大きくなる。図形情報では、管やケーブル等の線データの未接続や、この線データとバルブ等の点情報との未接続、図形データの重複等のエラーが含まれる。また、属性情報では、管同士の接続部の深さ情報に数メートルの段差が生じる等、不整合も含まれることがあり、これらのエラーを事前に是正する作業が不可欠である。また、管径、管底高、土被り高等の属性情報が欠落している場合、立体化に必要な深度情報が不足し、3D 化の作業が困難となる。さらに、旗上げ（引き出し線）情報や注記等の非構造化情報は自動抽出が困難である。そのため、作業による目視確認と手入力が必要となり、整備品質のばらつきや作業時間の増加につながる。修正立体化後、標準製品仕様に従って属性情報を付与し、CityGML に変換する。

2) 地中レーダー探査手法の概要と特徴

地中レーダー探査は、マイクロ波を地中に照射し、その反射波を解析することで、地下埋設物の平面位置や深さを把握する技術である。非破壊で実施できる点も大きな特徴であり、面的な探査が可能で、広範囲にわたる地下埋設物の情報を連続的に取得できる。取得されたデータの解析から得た地下埋設物の情報と、既存の台帳情報を照合することで、管種や属性の特定が可能となる。これにより、従来の台帳図に記載されていない不特定管の検出や、位置精度の向上が期待される。

ただし、地中の条件によっては地中レーダー探査で検出困難な場合が生じるほか、地表から 1.5m 以上の深さにある地下埋設物については、反射波の減衰により検出精度が低下する可能性がある。さらに、複雑な交差構造や接続状態の把握には限界があり、既存情報との照合や推定による補完が必要となる。

地中レーダー探査結果で得た位置情報に対して、既存の台帳等で取得した形状情報を基に、管・ケーブル、マンホール等の構造物を立体的に再現し、3D モデルを作成する。その際、標準製品仕様に基づいて属性情報を付与し、CityGML に変換する。なお、既存情報と探査によって得られた情報で不整合が生じる場合（台帳に記載のないルートがある、本数が異なる等）には、推定によって表現されることになるため、「推定」である旨の属性を明示し、ユーザーの誤解を防ぐ配慮が求められる。

3) 従来手法による 3D 都市モデル（地下埋設物）の作成手順（LOD 3、以後、管路 LOD 3）

3D 都市モデル標準作業手順書に記載されている 3D 都市モデル（地下埋設物）の作成手順の概要は以下のとおりである。

【管路の立体形状の生成】

管路の中心線（線形データ）を基に、管径（内径又は外径）と断面形状の情報をを用いて、管の立体形状（3D ジオメトリ）を生成した。

また、管の種類に応じて、円形、矩形等の断面形状を適切に選定し、モデルに反映させた。

【地中への深さ位置の設定】

埋設深さが管底高（標高）で与えられる場合は、そのままの値を使用して、管の底部の絶対位置高さ（標高）を決定した。一方で、土被り（地表から管上端までの深さ）で与えられる場合は、各地点の地盤高（標高）を、3D 都市モデルで使用される DEM（数値標高モデル）等から取得し、地盤高から土被り高を差し引いて、管の上端の標高を算出した。そこから管径を考慮して、中心や底部の位置を決定した。

【管路の交差】

埋設物同士の交差について、3D 都市モデル標準作業手順書では、次のとおりの対応方針としている。

「土被りの情報の不足や推定値を用いた地下埋設物モデルを作成する場合、現況では交差していなくても埋設物同士が交差する場合がある。埋設物の交差が生じた場合は、計画機関と協議のうえユースケースへ影響が生じないことを確認のうえ、メタデータの識別情報の要約にデータ利用上の注意事項として埋設物同士が交差していることを記述することで埋設物同士の交差を許容できる。」

【属性情報とモデルの整合性】

中心線と、断面形状、管径、深さ位置等の属性情報の間に論理的な整合性があることを確認した。特に、管径と深さ位置の関係は、モデルの正確性に直結する。

4) 地中レーダー探査を活用した 3D 都市モデル（地下埋設物）の作成手順（管路 LOD 3）

【地中レーダー探査】

多配列地中レーダーを用いて、反射波形データを面的に取得した。地中レーダーは反射時間を地中の電波速度に基づいて深度に変換している。面的なデータの反射波形から管路の連続的な位置及び線形を特定した。地表面の標高は DEM（数値標高モデル）から取得し、管路の標高を算出した。解析結果として、管路中心線を出力した。

【管路の立体形状の生成】

管路の管径や構造物の詳細形状は、各占用企業者が保有する台帳図等を確認し、特定した。推定された中心線と断面形状・管径情報を基に、管路の 3D 形状を構築した。

【属性情報とモデルの整合性】

中心線、断面形状、管径、深度等の属性間に論理的な整合性があるかを検証した。特に、深度と管路の管径の関係が不自然ではないかを重点的にチェックした。

5) 両手法の技術的比較

【土被り情報の限界と地中レーダー探査の有効性】

地下埋設物の管理においては、従来、「土被り情報」が重要視されてきた。3D 都市モデル標準作業手順書における地下埋設物モデル（管路）の作成方法では、既存の管理台帳図に記載された土被り情報を基に管路の形状を三次元化する手法が採用されている。この方法では、台帳図に情報が記載された箇所のみ三次元表現が可能となり、記載がない区間については直線的な表現に留まるという制約がある。また、地表の高さは道路工事や舗装の改修等により変化する可能性があるため、土被り情報だけでは地下埋設物の正確な位置や深さを把握することは困難である。この課題に対応するため、地下埋設物モデルでは、地表高と土被りの両方の情報を用いて、三次元的に管路の中心線を保持できる構造となっている。

既存図面を活用することで、一定の精度を保ちつつコストを抑えられるという利点がある一方で、既存図面以上の情報が得られないという限界も存在する。特に、地上から視認できない地中の状況を正確に把握する必要がある場面では、台帳情報のみでは不十分な場合がある。例えば、ある区間の土被り情報が「1m から 1.5m」とおおよその範囲で記載されている場合、その区間内で新たな掘削工事（他の地下埋設物設置工事や道路工事等）を行う際には、正確な深さが不明であることがリスクとなる。

このような状況において、地中レーダー探査は既存の台帳情報を補完する手法として有効である。地中レーダー探査は三次元点群測量を組み合わせることで、現況の地盤高及び埋設物の深さを高精度に取得することが可能であり、既存の図面情報が不完全又は更新されていない場合でも、現地の実態に即した信頼性の高い 3D モデルを構築できる。地中レーダー探査は現況の埋設物位置を探査により検出できるため、位置精度を高めるだけでなく、未記載の埋設物も検出可能である。ただし、複雑な交差構造や深度情報の補完には、既存情報との照合が必要となる場合もある。

このように、従来手法による既存情報の活用と、地中レーダー探査による現況把握を組み合わせることで、地下埋設物モデルの精度と信頼性を高めることが可能となる。

表 3-14 埋設深さ情報取得に関する従来手法の課題と地中レーダー探査活用による効果

項目	従来手法	地中レーダー探査活用
取得方法	既存の管理台帳図に依存。記載がない区間は推定や直線表現に留まる	現地の非破壊探査により、未記載区間も含めて実測データを取得可能（既存情報との照合が必要）

精度	記載内容に依存し、ばらつきがある場合もある	現況に即した高精度な深度の取得が可能。地上部と地下部の位置の整合性を確保可能
限界・課題	地表面の高さの変化により正確な位置把握が困難	複雑な交差構造や補完には既存情報との照合が必要
台帳図に未記載の埋設物検出	未記載の埋設物は検出不可	可能(未記載の埋設物も検出可能)

【地下構造物の位置情報取得手法】

地下埋設物モデルの整備において、正確な位置情報の取得は、モデルの信頼性を左右する重要な要素である。特に、地中に存在する構造物は地上から直接確認できないため、適切な測量・探査手法の選定が不可欠となる。地下埋設物の竣工図には、必ずしも絶対位置座標が記載されているとは限らず、特に古い図面や簡易な工事記録では、地物との相対位置や距離のみで表現されている場合もあり、現況との整合性に課題がある。このような場合、GISデータの作成・更新では、現地での測量作業が不可欠である。例えば、道路上の弁栓類やマンホール等の中心位置は、MMS（移動計測システム）による車両計測、トータルステーションやRTKによる精密測量、又は既存の地物（道路縁等の竣工図上に明示された特徴点）を基準とした巻き尺によるオフセット計測等の手法により取得される。これらの測量結果は、埋設物の竣工図に記載された位置と照合され、絶対座標を付与することでGISデータとして整備される。

一方、地中レーダー探査を活用したデータの作成・更新では、舗装面に埋設された管路や構造物の位置・深度・形状を非破壊で検出することが可能である。探査は、地上を走行可能な地中レーダー装置を用いて実施され、取得されたレーダーの情報は専用ソフトウェアにより解析される。解析結果は、既存の竣工図や現地測量結果と照合され、対象物を特定する。さらに、既知の地物（道路縁、マンホール、弁栓類等）との相対位置関係を利用して絶対座標を付与する。この点において、地中レーダー探査によるモデル整備も、現地作業とデータ化の工程を伴うという意味では、GIS整備と本質的に同様と言える。

表 3-15 埋設物の位置情報取得に関する従来手法の課題と地中レーダー探査活用による効果

項目	従来手法	地中レーダー探査活用
地上測量・計測の取得対象	地上の構造物（マンホール、弁栓類等）	地中の管路・構造物（位置・深度・形状）
主な手法	地上点群測量、トータルステーション、RTK、巻き尺によるオフセット計測	地中レーダー装置による走行探査と解析
情報源	既存の竣工図・管理台帳図に依存	取得したデータを解析し、既存図面と照合して精度を補完
精度	測量精度と竣工図の鮮度に依存。	測量精度と地中レーダー探査精度に依存する（不特定管も検出可能）
限界・課題	地下構造の再現困難。既存情報に依存	複雑な交差構造や補完には既存情報との照合が必要

【情報源の違いによるモデル精度と鮮度】

地下埋設物モデルの整備において、既存の GIS データが存在することは、整備作業を進める上での参照情報として役立ち、作業の効率化や利便性の向上に寄与する。ただし、GIS データは過去の情報を基に作成されたものであり、その内容が最新であるかどうか、またどのような方法で作成・更新されたかによって、実際の整備精度には大きな差が生じる可能性がある。つまり、GIS データの有無は整備のしやすさを示すに過ぎず、これを元に作成するモデルデータの信頼性は、参照している GIS データの更新手法・精度や更新頻度に依存する。一方、地中レーダー探査は既存 GIS データを補完する手法として有効である。非破壊で地下構造を面的に取得し、管路や構造物の位置・深度・形状を現況に即して把握できるため、従来の図面情報だけでは再現が難しかった地下の実態をより現況に近い形でモデル化できる。解析結果は既存の竣工図や測量結果と照合し、絶対座標を付与する工程を経るため、既存 GIS データも依然として重要な役割を果たす。

今回の実証では、従来法で課題となっていた再現性について、地中レーダー探査の結果を活用することで、3D 都市モデル（地下埋設物）の精度向上が可能であることが示された。両手法を組み合わせることで、両手法の限界を補い、信頼性の高いモデル整備が可能となる。

表 3-16 地下埋設物モデル整備に関する従来手法の課題と地中レーダー探査活用による効果

項目	従来手法	地中レーダー探査活用
情報源	過去の測量・台帳図に依存。更新頻度や精度にばらつきあり	現地の実測により最新の位置・深度情報を取得可能（台帳の属性情報活用）
精度	図面の鮮度や作成方法に依存。地表面の高さ変化により誤差発生	現況に即した高精度な位置・深度情報を提供し、地上部と地下部の位置の整合性を確保可能
再現性	測量＋情報源との照合でも、地下構造の把握は困難	探査＋解析＋既存情報との照合により、地下構造の再現性を向上

【従来手法との比較と両者の統合による利点】

従来手法による 3D 都市モデル（地下埋設物）の整備は、既存の図面情報を基に属性情報を活用して立体化を行うが、情報の不整合や欠落が比較的多く、精度面で課題があった。一方、地中レーダー探査は現場での実測に基づくため、精度が高く、網羅性にも優れている。両手法を組み合わせることで、精度と網羅性の両立が可能となり、より信頼性の高い地下埋設物管理が実現できる。

6) まとめ

3D 都市モデル（地下埋設物）の整備においては、従来手法（管理台帳図ベース）と地中レーダー探査の両方に利点と課題が存在する。従来手法は、既存の台帳図等に記載された属性情報を活用できる点で効率的であり、短期的な整備には適している。一方で、情報の網羅性や精度は、記載内容や更新状況に依存するため、現況との乖離が生じる可能性がある。

これに対し、地中レーダー探査は、対象範囲を非破壊かつ面的に実測することで、高精度な位置・深度情報の取得が可能であり、未記載の埋設物も検出できるという大きな利点を持つ。今回の実証においても、地中レー

ダー探査により、従来手法では把握できなかった埋設物の存在や位置精度の向上が確認された。この結果は、地中レーダー探査が従来手法を補完する新たな技術として有用であることを示している。ただし、解析や補完には専門的な知識と既存情報との照合が必要となるため、導入には一定の技術的・人的リソースが求められる。3D 都市モデル（地下埋設物）の整備においては、従来手法と地中レーダー探査を適切に組み合わせることで、精度・網羅性・効率性を高めることが可能となる。特に、将来的な維持管理や工事計画、事故防止・安全性の確保といった観点からは、モデルの精度が極めて重要である。整備されたモデルが現地の状況を三次元的に正確に表していれば、掘削や施工時に埋設物を誤って破損するリスクを大幅に低減できる。これは、地下インフラ設備を対象とする工事において、事故防止や作業員の安全確保に直結する。また、正確な位置情報に基づくモデルは、維持管理の計画立案や設計時の干渉回避にも有効であり、長期的な運用効率の向上にも寄与する。このように、地中レーダー探査による実測データは、リスク管理と精度確保において、従来手法を補完する有力な技術であり、3D 都市モデル（地下埋設物）の整備においても、特に都市部やインフラ密集地域では、信頼性の高い地下モデル構築のために不可欠な手法として位置づけられる。

表 3-17 従来手法の課題と地中レーダー探査活用による効果

観点	従来手法	地中レーダー探査活用
初期コスト	既存資料を活用でき、低コストで導入可能	機材・人件費・解析コストを要するが、面的な情報取得が可能
精度	管理台帳に基づく情報で、既存データを活用可能	実測に基づく高精度な位置情報を取得可能
適用範囲	各占用企業者の台帳図に記載された範囲	全区間を面的に把握可能（占用企業者に依存しない）
維持管理や運用における効率性	既存情報を活用できるため、初期対応が容易	高精度な情報により維持管理の信頼性向上と更新作業の効率化が可能
未記載埋設物検出	不可	可能

【今後の整備方針に向けた提案】

今後の整備方針に向けた提案を以下に示す。

- 短期的整備
 - 既存の台帳図を活用した 3D 都市モデル（地下埋設物）の整備を基本とし、コストを抑えつつ整備を推進する
- 重点区間の精密化
 - 掘削予定箇所や事故リスクの高い区間に限定し、地中レーダー探査を導入する
- 将来的な統合
 - 地中レーダー探査結果を活用した 3D 都市モデル（地下埋設物）を統合し、ハイブリッド型の地下埋設物管理を目指す

このような整備方針により、短期的な効率と長期的な精度・安全性の両立が可能となり、持続可能な都市インフラ管理の実現に寄与することが期待される。


4. 地下埋設物データの保持・利用・共有の在り方に関する調査

4-1. 目的

本整備実証業務では、都市再開発やインフラ整備事業への活用を念頭に、3D 都市モデル（地下埋設物）の整備に当たっては「地下埋設物位置情報の正確性と再現性」の課題に取り組むことが重要であると考え、地中レーダー探査等を活用した 3D 都市モデル整備の実証及び地中レーダー探査や既存手法である台帳図を用いた 3D モデルの精度について検証を行ってきた。ここでは、各占用企業者が保有している台帳図や GIS データ等の埋設物位置情報について、保持や利用、共有の実態を調査し、これらの課題を整理する。

4-2. 方法

アンケート調査を実施するに当たり、各占用企業者の協力を得るために、国土交通省都市局から図 4-1 に示す目的を記載した協力依頼文書を発出した。協力を得られた占用企業者の担当宛てにアンケート調査票をメール送付し、2 週間ほどで回答を受領した。



地下埋設物データの保持・利用・共有の在り方に関する現状調査

【本アンケート調査の目的】

国土交通省都市局では、令和2年度から3D都市モデルの整備・活用・オープンデータ化プロジェクト「PLATEAU」を推進しているところです。PLATEAUでは、都市空間をデータによって再現したものを“3D都市モデル”と定義しております。現実の都市空間から必要な情報を取捨選択し、データとして記述する規則を「3D都市モデル標準製品仕様書」としてとりまとめ、地理空間情報も活用し、PLATEAU、BIM モデル、不動産ID の取組を一体的に進め、高精度のデジタルツイン実現を目指す「建築・都市のDX」の推進を図ってまいりました。

本年度は、地中レーダー探査等を活用した地下埋設物モデルの整備を行い、その有用性等を検証することで、都市デジタルツインの社会実装を加速し、都市における社会経済の変革に貢献することを目指します。

その一環として、地下埋設物データの保持・利用・共有の在り方に関する現状を把握し、3D都市モデルやプラットフォームを整備する上での課題整理を行うこととしております。

つきましては、別紙のアンケート調査にご回答いただきたく、ご協力をお願い申し上げます。

図 4-1 アンケート調査の目的

4-3. 内容

4-3-1. アンケート調査の実施

札幌市、広島市、福岡市の占有企業者に対して、地下埋設物データの保持・利用・共有のあり方に関するアンケート調査を実施した。アンケート調査票で回答を依頼した質問項目を表 4-1 に示す。

表 4-1 アンケート調査内容

質問内容	回答形式
①地下埋設物の位置等に関する情報（台帳図等）のデータ形式	
地下埋設物の位置等に関する情報（台帳図等）のデータ形式についてご教示ください。他工事の施工協議等で、施工会社に対して提供可能な、地下埋設物の位置等に関する情報（台帳図等）の形式	選択回答式（複数回答可）：紙媒体、PDF データ、CAD データ、GIS データ、その他（記述）
地下埋設物の位置等に関する情報（台帳図等）のデータ形式についてご教示ください。図企業者で保有している、地下埋設物の位置等に関する情報（台帳図等）の形式	選択回答式（複数回答可）：紙媒体、PDF データ、CAD データ、GIS データ、その他（記述）
②地下埋設物の位置等に関して保有している情報（台帳図等）の内容	
地下埋設物の位置等に関して保有している情報（台帳図等）の内容についてご教示ください。地下埋設物の位置等に関する情報（台帳図等）に、記載されている内容を選択してください。	選択回答式（複数回答可）：平面位置、深さ、管径、条数・列・段数、座標値又は座標情報、敷設年、工法、点検結果、点検年月、修繕・更新有無、修繕・更新年、占用許可情報、その他（記述）
地下埋設物の位置等に関する情報（台帳図等）の更新頻度についてご教示ください。	記述式
地下埋設物の位置等に関する情報（台帳図等）の更新方法についてご教示ください。	記述式
③地下埋設物の位置等に関する情報（台帳図等）の構造化状況	
地下埋設物の位置等に関する情報（台帳図等）の構造化状況についてご教示ください。保有している情報についてデータベース化（定義された項目ごとに情報が入力されている）の有無	選択回答式：すべての情報をデータベース化、一部の情報をデータベース化、データベース化した情報はない
地下埋設物の位置等に関する情報（台帳図等）の構造化状況についてご教示ください。地図情報との関連付けの有無	選択回答式：すべての情報を地図情報と関連付け、一部の情報を地図情報と関連付け、関連付けている情報はない
④地下埋設物の位置等に関する情報の他の管理主体との共有	
地下埋設物の位置等に関する情報の、他の管理主体との共有についてご教示ください。他の管理主体と共有している情報	選択回答式（複数回答可）：平面位置、深さ、管径、条数・列・段数、座標値又は座標情報、敷設年、工法、点検結果、点検年月、修繕・更新有無、修繕・更新年、占用許可情報、その他（記述）
他の管理主体との共有の頻度について教えてください。	選択回答式：常時、都度、非常時
他の管理主体との共有に用いている方法又はシステムがあればその名前と特徴を教えてください。また、他の管理主体との情報共有に必要となっている手続き等があれば教えてください。	記述式
他の管理主体と情報を共有している理由とメリットについて教えてください。	記述式

他の管理主体と情報を共有していない理由や制約事項について教えてください。	記述式
⑤地下埋設物データの保持・利用・共有における課題	
地下埋設物データの保持・利用・共有における課題についてご教示ください。地下埋設物データを保持、利用するうえで、現状の課題があればご記載ください。	記述式
他の管理主体との情報の共有に用いているシステムについて、現状の課題があればご記載ください。	記述式
上記以外で共有における課題があればご記載ください。	記述式

4-3-2. アンケート調査回答の集計・分析

アンケート調査票を回収・集計し、回答の傾向を整理するとともに、本業務で設定した課題である「地下埋設物位置情報の正確性と再現性」の観点で、地下埋設物データの保持・利用・共有における課題を整理した。

4-4. 調査結果

4-4-1. 集計結果

表 4-2 に示す 18 社の占有企業者から回答を得ることができた。

表 4-2 アンケート回答を得ることができた占有企業者

	上水道	下水道	ガス	通信	電力	情報	照明	流域下水	雨水排水	河川
札幌市	○	○	○	○	○	○			○	○
広島市	○		○		○	○		○		
福岡市	○	○	○		○			○		

1) 地下埋設物の位置等に関する情報（台帳図等）の保有形式について

工事の施工協議等で、施工会社に対して提供可能な、地下埋設物の位置等に関する情報（台帳図等）の形式、保有している情報（台帳図等）の形式についての回答結果を図 4-2 に示す。

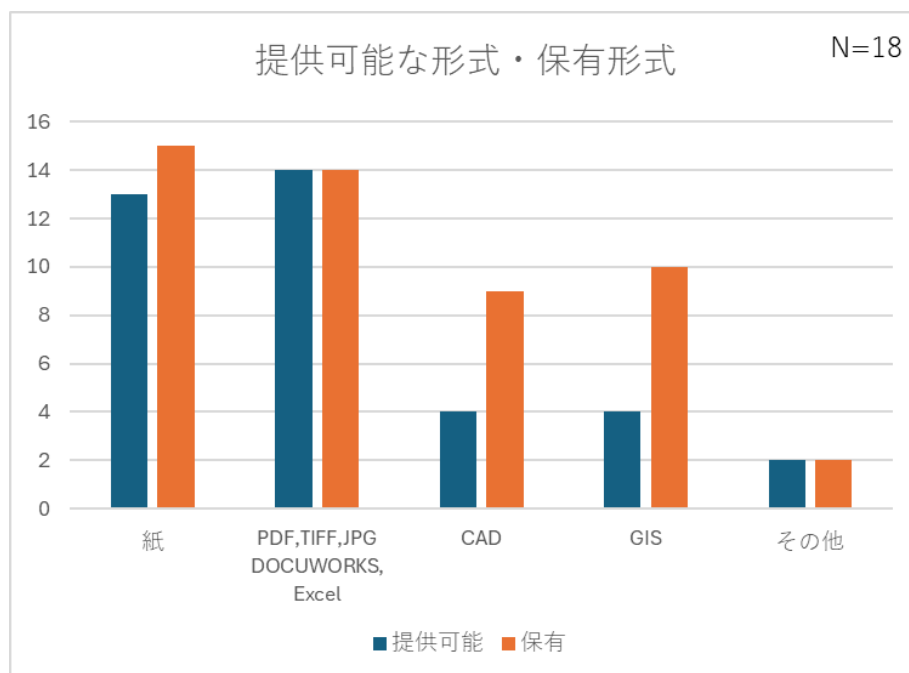


図 4-2 提供可能な形式・保有形式

地下埋設物の位置等に関する情報（台帳図等）の保有形式について、紙媒体の情報を保有していると回答した企業者が 18 社中 15 社（83.3%）、PDF 及び TIFF、JPG、DOCUWORKS、Excel といった電子データ化された情報を保有していると回答した企業者が 18 社中 14 社（77.8%）、CAD データの情報を保有していると回答した企業者が 18 社中 9 社（50%）、GIS データの情報を保有していると回答した企業者が 18 社中 10 社（55.5%）であった。その他の形式として、道路管理システムのデータ、独自のシステムのデータを保有しているとの回答も得た。

保有している情報のうち、提供可能な情報の形式については、紙媒体が 13 社（72.2%）あり、紙媒体で保有している情報以外の電子データ又は CAD、GIS 等を紙に出力し、提供している場合も含まれる。電子データでは PDF や TIFF での提供が 14 社あり、その他の電子データ形式での提供は回答がなかった。CAD データ及び GIS データでの提供はそれぞれ 4 社（22.2%）と少ない。その他の回答に含まれていた道路管理システムのデータは紙に出力して提供しているものと推測される。もう一つのその他の回答の内容は、閲覧のみで提供はしていないという内容であった。

2) 地下埋設物の位置等に関する情報（台帳図等）に記載されている内容について
台帳図等に記載されている内容についての回答結果を図 4-3 に示す。

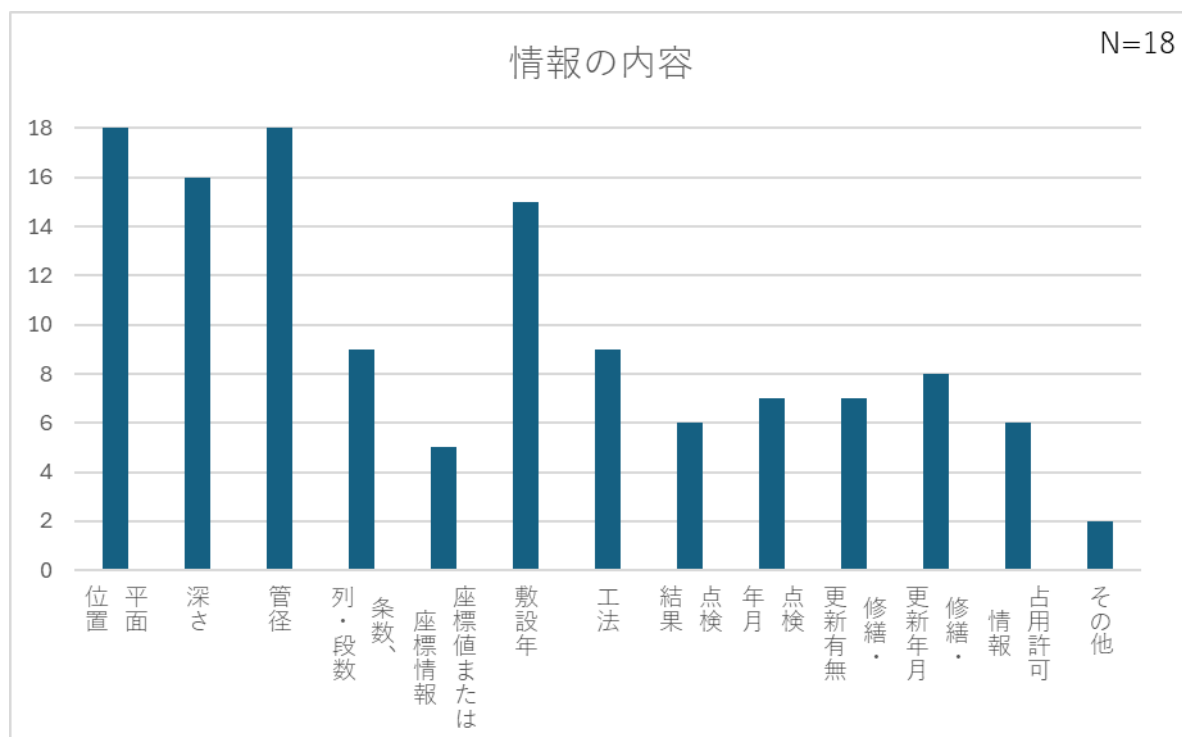


図 4-3 台帳図等に記載されている情報の内容

地下埋設物の「平面位置」、「管径」については、全ての企業者から記載されていると回答があった。また、「条数、列・段数」は、多条管を管理している全ての企業者から記載されていると回答があった。「深さ」については、18社中16社（88.9%）、「敷設年」については、18社中15社（83.3%）で記載されていることが確認できた。位置情報として活用できる「座標値又は座標情報」は18社中5社（27.8%）であり、GISデータを保有している企業者数より少ない。システム内の情報としては座標値を有しているものと考えられるが、システムを閲覧する際に表示されない等の状況を基に回答をされたと推測する。

3) 地下埋設物の位置等に関する情報（台帳図等）の更新頻度について

情報の更新頻度については記述式の質問を行い、ほぼ全ての企業者が「工事の都度」と回答した。一部で「1年に1度、不定期」という回答もあった。

4) 地下埋設物の位置等に関する情報（台帳図等）の更新方法について

情報の更新方法については記述式の質問を行った結果、多様な回答があった。道路管理システムに関する回答として、「道路管理システム登録物件について道路占有許可申請者が同システムを用いて申請をすることで情報更新がなされ、未登録物件は道路占有許可申請に添付される図面を保管することで更新している」、「道路管理センターに埋設物データを提供し、更新作業を依頼」、「道路管理センターのデータ入力により更新」があり、同システムの活用状況が確認できる。これ以外の専用のシステムへの登録を行っている回答も複数あり、登録に際しては業者に委託しているケースも確認できた。また、工事で作成した竣工図等の図面の保管だけでなく、その情報を用いてGISシステム情報の更新を行っている事例も確認できた。

一部で、紙ベースの台帳図作成で管理している情報については更新ができていないという回答もあった。

5) 地下埋設物の位置等に関する情報（台帳図等）の構造化状況について

保有している情報が定義された項目ごとに入力されてデータとして活用可能状態にあるか（データベース化の有無）、また、保有している情報が地図情報と関連付けられているかを確認した。回答結果を図 4-4 に示す。

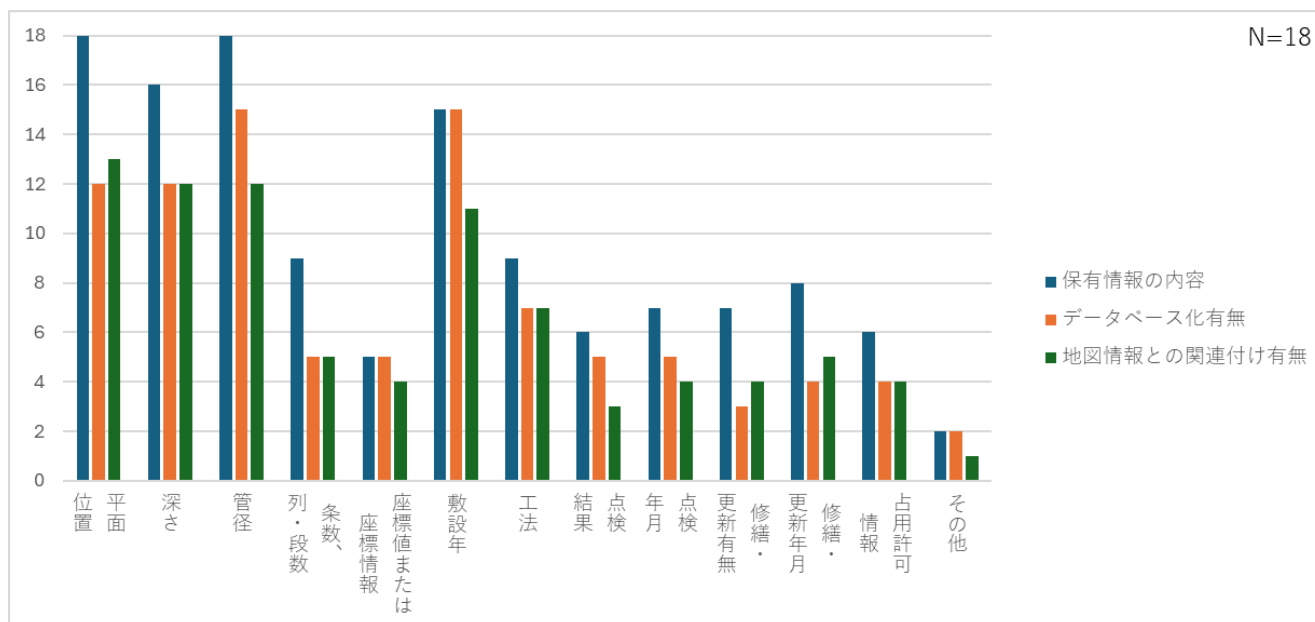


図 4-4 保有情報のデータベース化、地図情報との関連付けの状況

保有情報のうちデータベース化されている割合の高い情報は、「座標値又は座標情報」、「敷設年」で 100%、「管径」、「点検結果」が 83.3%、「工法」が 77.7%、「深さ」が 75%、「点検年月」が 71.4%であった。「平面位置」については、全回答者が保有していると回答があったが、データベース化に関しては「66.6%」に留まる。

地図情報との関連付けがされている割合の高い情報は、「座標値又は座標情報」が 80%、「工法」が 77.7%、「深さ」が 75%、「敷設年」が 73.3%、「平面位置」が 72.2%であった。

6) 他の管理主体との共有状況について

他の管理主体（他の占用企業者や道路管理者）と共有している情報についての回答結果を図 4-5 に示す。

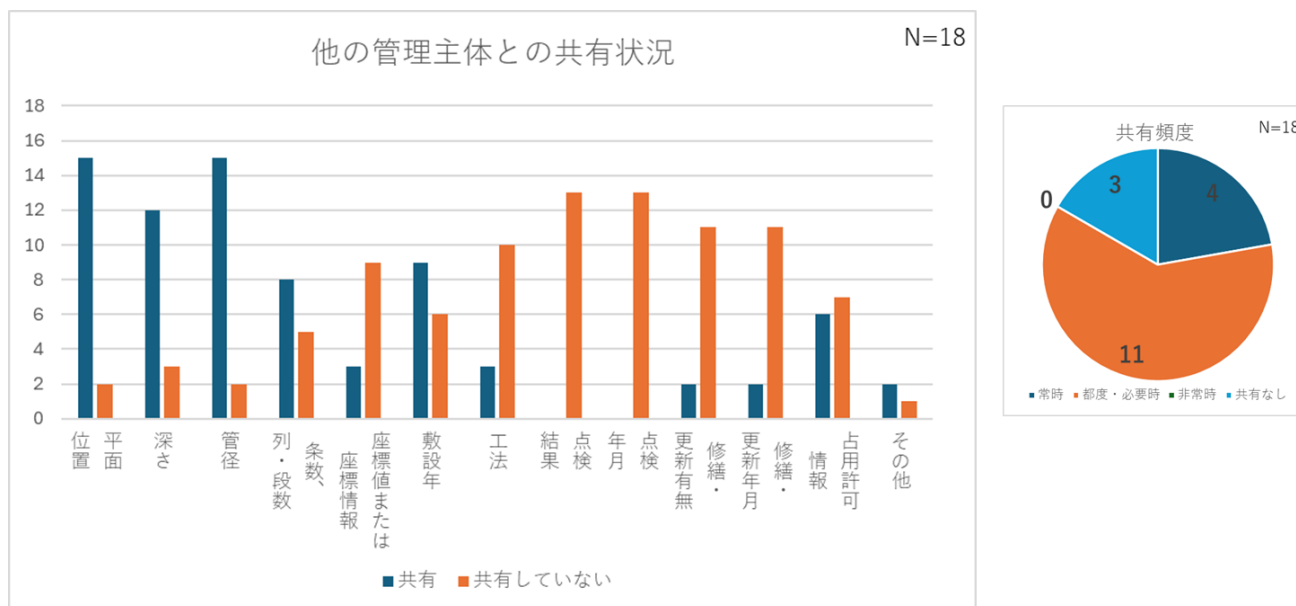


図 4-5 他の管理主体と共有している情報、共有の頻度

アンケートに回答をされた企業者の 83.3%が「平面位置」や「管径」の情報を、66.6%が「深さ」の情報を、他の管理主体と共有している。また、多条管を管理している企業者の 88.8%が「条数、列・段数」の情報を他の管理主体と共有している。それ以外の情報については共有していない場合が多い。常時情報共有を行っている企業者は 4 社に留まり、11 社は必要時に共有を行っている。

共有している理由は、「道路管理システムを利用しているため」、「工事の設計施工時に他占有者の埋設物位置を把握する必要があるため」、「道路掘削工事により既存の地下埋設物を損傷しないようにするため」、「可能な限り他企業と同時期に道路掘削工事を実施させ、道路の無用な掘り返しを防ぐため」等が回答としてあった。共有のメリットは、「参加者の他埋設物情報がシステムから即時得られる」、「工事調整業務、申請業務、占用物件管理等の業務で活用できる」、「電子申請による占用手続きの迅速化」等の回答があった。

一方で、共有をしない理由は、「道路管理センターの提出要件に当てはまらないため」、「個人情報を含むため」、「共有する資料に記載されていない」、「他の管理帳票で維持管理を実施している」、「共有する必要がない」等の回答があった。

7) 現状の地下埋設物データの保持・利用における課題について

データの保持・利用・共有に関して、幅広い課題が存在することが確認できた。「管路深さや位置の詳細情報についてはデータと現地で乖離する可能性がある（現状のシステムでは詳細管理が難しい）」、「情報登録に手間がかかり、情報反映に時間を要する」、「日常的に変化があるデータを収集し取り込み活用するのは限界がある」、「地図情報がないため、一元的に管理できていない」、「データが煩雑となり、システム上で取りまとめることに苦慮している」、「毎年の点検結果を効率よく漏れなく更新していくこと」、「個人情報等の情報の管理取り扱いの厳格な対応が求められること」等の回答があった。

8) 現状のプラットフォームの課題について

特定のプラットフォームについて質問を行ってはいないため、各企業者が利用しているプラットフォームに対

しての課題となる。「すべてのデータを一元的に管理できないので、各々が主体となって管理するデータに分けられてしまう」、「埋設物の詳細まで確認できない」、「更新が年1回のため、最新の情報ではない」、「各職員のPCでは閲覧できず、システムのサーバーに接続された端末でしか閲覧できない」等の回答があった。

9) 他の管理主体と共有する上での課題について

「CADデータとして運用できていないシステムもあるが、今後はCAD化が必要」、「企業者間の位置情報精度や情報の鮮度が異なる」、「図面上の個人情報の取り扱い」、「情報共有する項目についての精査」、「他の管理主体と利用するシステムが異なっても円滑に情報共有を図れるようにすること」等の回答があった。

4-4-2. 分析結果

本実証業務における課題の設定は、「地下埋設物位置情報の正確性と再現性」であり、この観点から以下の課題の存在が確認できた。

1) 位置情報の記載・保有状況と利用の課題

- 位置情報として活用できる「座標値又は座標情報」を台帳図等に記載している企業者は18社中5社(27.8%)に留まっている。これはGISデータを保有している企業者数(10社、55.5%)よりも少なく、システム内の情報としては座標値を有していても、閲覧時に表示されない等の状況が推測される
- 平面位置は全回答者が保有しているが、データベース化は66.6%に留まっている
- 再現性の高いデジタルデータであるCADデータやGISデータ形式での埋設物位置情報の提供は、それぞれ4社(22.2%)と少ない。提供形式の主流は紙媒体(13社、72.2%)や電子データ(PDFやTIFF等14社)であり、これらは再現性よりも視覚的な確認に重きを置いたものである
- 特に、3Dモデル化に必須となる「深さ」情報の共有率は平面位置に比べて低く、データの欠損や現地との不一致が懸念されるため、立体的な再現性を確保する上での障壁となると考えられる

2) 埋設物位置情報の現況との乖離とシステム管理の課題

- 「管路深さや位置の詳細情報についてはデータと現地で乖離する可能性がある(現状のシステムでは詳細管理が難しい)」という課題が指摘されている。これは、記録された位置情報の「正確性」そのものに疑義があることを示唆している
- 「情報登録に手間がかかり、情報反映に時間を要する」、「日常的に変化があるデータを収集し取り込み活用するのは限界がある」といった回答があり、再現性を担保するための情報の鮮度が課題となっている
- 「一部で、紙ペースの台帳図作成で管理している情報については更新ができていない」という回答があり、紙媒体での管理が情報の正確性や再現性の低下を招いている
- プラットフォームによっては「更新が年1回」といった回答もあり、再開発やインフラ整備事業等で変化する地下空間の状況をタイムリーに反映できず、情報の鮮度の確保が困難な状況が推察される
- データへのアクセス制限(専用端末のみ利用可)が、日常的なデータ確認やデータ更新のサイクルに支障となっている可能性も考えられる

3) 共有における課題

- 「企業者間の位置情報精度や情報の鮮度が異なる」という課題があり、共有されるデータの正確性と再現性の標準化が求められている
- 「CAD データとして運用できていないシステムもあるが、今後は CAD 化が必要」との認識があり、CAD はより再現性の高い情報提供形式として重要視されている

5. 成果と課題、今後の展望

5-1. 本実証の成果

本業務では、地下埋設物位置情報の「正確性と再現性」の確保に向け、地中レーダー探査技術の有用性検証及び地中レーダー探査結果を用いた 3D 都市モデル（地下埋設物）の整備実証、埋設物管理の実態調査を実施した。主な成果は以下の通りである。

1) 地中レーダー探査による埋設物位置情報の精度の定量的評価

札幌市、広島市、福岡市の 3 都市における試掘調査との比較検証により、地中レーダー探査が埋設物位置情報の精度向上に有効であることを確認した。

【位置精度の向上】

既存の台帳図・GIS データの平均誤差が平面位置で 19 cm～38 cm 程度、深度で 13～38cm 程度、標準偏差（ばらつき）も大きい結果であったのに対し、地中レーダー探査結果は平均誤差が平面位置で 4 cm～5 cm 程度、深度が 7 cm～10 cm 程度、標準偏差も台帳図の約 1/3 程度に収束し、安定した高精度な位置特定が可能であることを実証した

【不特定管・残置物の検出】

有姿除却や台帳未整備等の理由で台帳図に記載のない不特定管や残置物（矢板等）についても、地中レーダー探査では高い確率（90%以上）で検出し、工事事故のリスク要因となる埋設物を可視化できることを確認した

2) 環境条件による探査特性の把握

異なる舗装構成や埋設環境における地中レーダー探査の適用性を検証した。凍上抑制層や厚いアスファルト舗装といった条件下においても、マイクロ波の透過に著しい支障はなく、十分な精度で管路を検出できることを確認した。これにより、当該技術が国内の多様な道路環境へ適用可能であるとの知見を得た。

3) 絶対座標系による高精度な 3D 都市モデル整備プロセスの確立

従来の台帳図や GIS データに依存した手法では位置精度に限界があったが、本実証では、基準点測量に基づく高精度な地上部の 3D 都市モデルと、地中レーダー探査結果を活用した 3D 都市モデル（地下埋設物）を統合した。これにより、地上と地下の位置整合性が確保された 3D 都市モデル整備プロセスを体系化し、従来の相対的な位置推定から脱却した、正確な位置管理と維持管理への活用が可能となることを実証した。

4) 3D 都市モデル（交通（道路））の LOD による位置特定精度の検証と指針化

3D 都市モデル（交通（道路））の LOD の違いが地下埋設物の位置特定精度に与える影響を定量的に検証した。LOD1 や LOD2 では高さ情報が欠落し位置特定の誤認が生じやすい一方、詳細な 3 次元構造を持つ LOD3 を活用することで、マンホール等の位置整合性が保たれ、維持管理の信頼性が向上することを確認した。これに

より、用途に応じた精度基準と最適な LOD 選定の技術的指針を得ることができた。

5) 地下埋設物データの管理・共有実態の可視化

占有企業者へのアンケート調査を通じ、データの「正確性と再現性」を阻害する構造的な課題を明らかにした。デジタル化と共有の遅れ: 多くの事業者が依然として紙や PDF 主体で情報を管理・提供しており、3D 化に不可欠な「座標値」や「深さ」情報の共有が進んでいない実態を把握した。

現況との乖離: システム更新頻度の制約（年 1 回等）や、日常的な変化の反映の難しさから、データと現地の乖離が常態化しており、これが事故や手戻りの原因となっている現状を浮き彫りにした。

5-2. 課題と対応策

検証結果及び調査結果から明らかになった課題と、それに対する対応策を以下に整理する。

1) 地中レーダー探査技術の限界と補完

● 課題

- ロードヒーティング設備や防護コンクリート版（鉄筋入り）等、金属を含む遮蔽物が存在する場合、その下部の管路検知が困難となる。また、地中レーダー単体では管の材質や属性（所有者等）を特定できない

● 対応策

- 遮蔽物がある区間や管種特定においては、既存の台帳図や人孔等目視調査による属性情報の紐づけを必ず併用する整備手法を標準とする。また、探査不可領域については、モデル上で「推定区間」であることを明示するデータ構造を採用する

2) 既存データの信頼性と座標管理の欠如

● 課題

- アンケート結果より、既存台帳図の多くが相対位置管理（オフセット管理）であり、絶対座標（緯度経度・標高）を持っていないことが明らかとなった。また、更新ラグにより現況とデータが一致しないケースが多い

● 対応策

- 工事の都度実施される測量データを活用し、順次、絶対座標付与を行う運用フローの構築が必要である。また、地中レーダー探査で得られたより正確な位置情報を活用して埋設物位置情報を補正・更新する仕組みづくりが求められる

3) 3D 都市モデル（交通（道路））との位置整合性の確保とデータ修正

● 課題

- 3D 都市モデル（地下埋設物）を、3D 都市モデル（交通（道路））と統合する際、スムージング処理等の影響でマンホール等の位置に数 cm 程度の差異が生じ、整合性確保が課題となった

- 対応策

- 地上部と関連性の高いオブジェクトについては、必要に応じて 3D 都市モデル（交通（道路））のサーフェス形状を、3D 都市モデル（地下埋設物）の位置に合わせて加工する調整手法の検討が必要である

4) 共有プラットフォームの仕様とセキュリティ

- 課題

- 事業者間でデータの精度基準や形式（CAD/GIS/紙）がバラバラであり、統合利用の障壁となっている。また、詳細な位置情報の共有はセキュリティ上の懸念から敬遠される傾向にある

- 対応策

- 3D 都市モデル標準仕様に準拠したデータ整備を進め、データ交換のインターフェースを統一する。セキュリティについては、詳細な座標値は設計や施工関係者等限られた利用者のみ閲覧可能とし、一般公開用は LOD を落とす等、利用者の属性に応じたアクセス権限制御機能をプラットフォームに実装する必要がある

5-3. 今後の展望

1) 用途に応じた精度基準の確立と使い分け

本実証により、地中レーダー探査は「設計・施工」や「事故対応」に耐えうる高精度なデータ（誤差 10cm 程度）を提供できることが確認された。一方で、広域な都市計画や資産管理レベルであれば、既存の台帳図ベース（誤差 30cm～数 m）でも利用可能な場合がある。今後は、全域を高精度化するのではなく、再開発エリア等でこれから設計を実施する等活用用途が見込めるエリアは地中レーダー等を用いた 3D 都市モデル（地下埋設物）を整備する等、費用対効果を考慮した段階的な整備モデルを確立していくべきである。

2) 工事プロセスと連動した「動的な」データ更新エコシステムの構築

アンケートで指摘された「情報の鮮度」の課題を解決するためには、一時的な調査で終わらせず、日々の道路掘削工事の際に取得される位置情報（本実証業務で活用した「ちかデジ」による写真測量や三次元点群測量等）が、自動的に統合データベースへ反映される「動的な更新エコシステム」の構築が望まれる。

3) 都市のレジリエンス強化への寄与

能登半島地震等の災害時において、地下埋設物の正確な位置情報は迅速な復旧に直結する。本実証で得られた高精度な 3D 都市モデル（地下埋設物）は、平時の維持管理だけでなく、災害時の緊急掘削における意思決定支援ツールとしての活用が期待される。

4) 「作るモデル」から「使うモデル」へ

3D 都市モデルを設計・施工フェーズのデジタルデータフロー（BIM/CIM）とシームレスに連携させ、都市の地下空間情報を建設現場の効率化、安全性向上に直結させる「建設 DX」の基盤として社会実装していくこと

が望まれる。図 5-1 は、地中レーダー探査等を活用した精度の高い 3D 都市モデル（地下埋設物）の更なる活用策として、ICT 建機（マシンガイダンス機能搭載）等の施工データとして利用するためのバリアデータを試作したものである（特許所有者から使用許諾を得て作成）。作成したバリアデータを ICT 建機のモニター上に表示させることで、オペレーターは掘削作業中に地中の埋設物位置をリアルタイムに把握可能となる。これにより、埋設物破損事故の防止（安全性向上）が期待される。

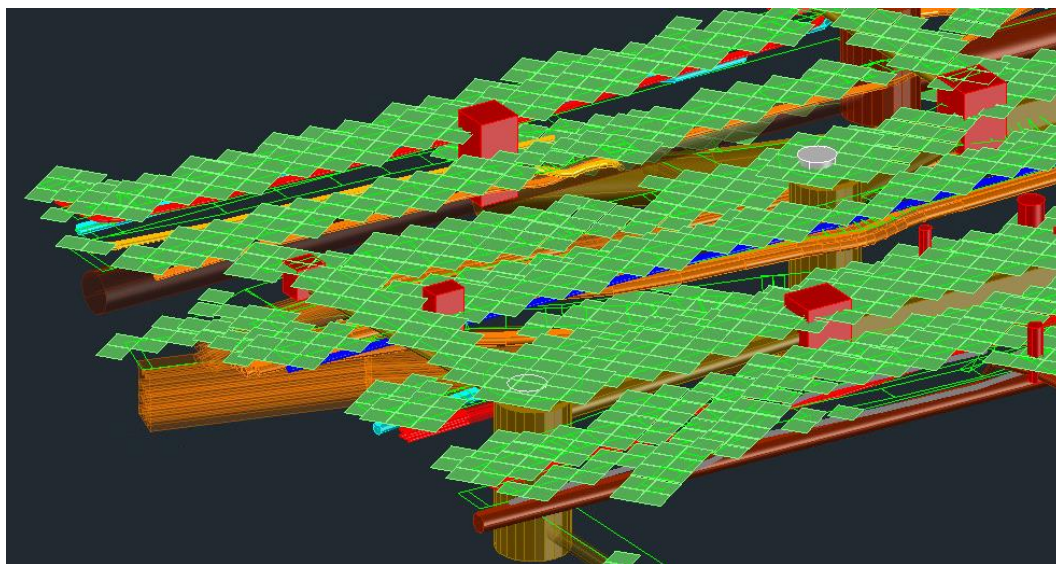


図 5-1 試作したバリアデータ

6. 用語集

表 6-1 用語集（五十音順）

No.	用語	説明
1	管崩し	多条管の配列を途中で変えること。他の埋設物と交差する箇所等で、土被りを確保しつつ、埋設物との離隔を確保するために行うことがある。
2	管頂	管頂 地中埋設管の上端（最も高い位置）を指す点。
3	官民境界	公的空間と私有地の境界。
4	サーフェスデータ	地表面の形状・高度情報を表すデータ。
5	人孔	マンホールと同義。下水道等の埋設管路へアクセスする開口部（蓋つきの入口）。
6	スラグ路盤	路盤の材料として鉄鋼スラグを用いた敷設層。鉄鋼スラグは水硬性により高い強度と耐久性を有する。石灰とシリカを主成分とするが、少量の金属成分を含む。
7	擦り付け勾配	路面と接続部の段差をなくすための微小な勾配。
8	占用企業者	道路下の埋設物を占有・管理する企業・団体（上水道、下水道、ガス、電力、通信事業者等）。
9	台帳図	占用企業者が保有する地下埋設物の位置・属性を記録した図面。紙、電子ファイル、CAD、GIS等の形式で管理されている。
10	多条管	複数のケーブルや保護管をまとめて収容しているものを指す。
11	多配列地中レーダー	複数のアンテナ（送信機と受信機）を配列した地中レーダーシステム。
12	地中レーダー探査	地中にマイクロ波を照射して反射波を解析し、地下埋設物等の位置・形状を非破壊で取得する技術。
13	地表物	地表に現れる構造物（マンホール蓋等）を指す。
14	中心周波数	探査機等が発する電磁波の周波数分布の中心値。深さ・解像度を決定する要素。
15	凍上抑制層	凍結による凍上を抑制するための舗装下層。透水性材料を用いて凍結深さを浅くする役割。
16	道路管理システム	道路管理者（国、自治体）と公益事業者（電気、ガス、水道、通信等）が共同で利用する地理情報システム（GIS）を活用したシステム。
17	道路管理センター	道路管理業務を支援するシステムを開発・運用している団体。
18	道路付属物	道路本体以外に設置される構造物（ガードレール、道路標識、排水設備等）。
19	土被り	地表面から埋設物の管頂までの被覆厚。
20	取付道路	道路と住宅、公共施設等と結び、あるいは橋・堤防等に取り付ける道路。

21	反射波/反射信号	地中レーダー等で境界面から返ってくる電磁波。埋設物の位置推定の根拠となる信号。
22	不特定管	管種が特定できない埋設管。台帳の未整備や有姿除却され台帳から除外されている場合等がある。
23	マイクロ波	おおよそ周波数 300MHz（メガヘルツ）から 300GHz（ギガヘルツ）、波長 1m（メートル）から 1mm（ミリメートル）程度の電磁波を指す。
24	マウントアップ	15 cm以上の高さの歩車道境界ブロック(縁石)の延長上に歩道や宅地を設けること。歩行者と車両の相互の安全性を高め、また、雨水が歩道や住宅地に侵入することを防ぐ。
25	巻込み部	主に交差点や取付道路等が接続する場所にあり、車両が右左折する際にスムーズに通行できるように曲線を持たせている。
26	マシンガイダンス	ICT 建機等の作業位置・深さを現地データと連携して案内する機能。
27	マシンコントロール	掘削機等を 3D 設計データに基づき自動制御する技術・機能。
28	有姿除却	事業の用に供しなくなった固定資産を、物理的に廃棄・解体していない状態で除却損として会計処理すること。
29	レーンマーク	車線と車線を区切る実線で記された路面標示。
30	ロードヒーティング	路面の凍結を抑制する、路面下の電熱・温水式加熱設備。
31	路側線	路肩と車線を区切る実線で記された路面標示。

以上

建築・都市の DX の推進に向けたレーダー探査等を活用した
地下埋設物モデルの整備実証業務
技術検証レポート

発行：2025 年 12 月

委託者：国土交通省 都市局

受託者：ジオ・サーチ株式会社

株式会社パスコ