

藤沢市における効率的な道路陥没防止手法の研究成果報告(官学産 共同研究) その1

道路陥没 空洞 対策

東京大学生産技術研究所 国際会員 ○瀬良 良子
同 上 国際会員 桑野 玲子
藤沢市道路河川部 西山 博光
藤沢市下水道部 張ヶ谷 昌彦
ジオ・サーチ株式会社 阿部 匡彦

1. 本共同研究の目的 藤沢市は、「安全で安心な暮らしを築く」ことを市政のひとつのテーマに掲げている。藤沢市・東京大学・ジオ・サーチ株式会社は、その実現策として、市が将来にわたり効率的に道路陥没防止を図っていくための手法の開発を目的に、本研究を開始した。この官学産共同体は、2017年4月から2019年3月の2年間にわたり、臨床的・実践的な調査をベースとして分析や検討、議論を重ね、まさに協働体制で市の陥没防止に対する活動方針の基礎となる成果を創出した。研究テーマである「効率的」とは、一般的には物事が無駄なく効率よく行われることを言う。行政の施策として行う道路陥没防止の観点では、リソース(労力・時間・技術力)が財政に直結することから、まずは不可視な地中の空洞を信頼ある技術で確実に検知することが前提条件になる。そして次に、空洞調査路線の選定・調査サイクルの設定・補修判断(時期、原因の見極め)などを、地域に適した内容と仕組みで運用することで実現する。藤沢市では、本研究前に2カ年にわたって主要な道路を一斉に調査し(98路線・調査延長300km)、202箇所という多数の空洞信号が確認されていた。研究開始当初から藤沢市は、これらの空洞を評価し、陥没危険度の高い順に必要な対応を図っていくという方針を定め、補修を行っていた。一方で、空洞が過密に発生していた南部エリアの今後の対応、経過観察対象にした陥没危険度の低い空洞の挙動把握、これら課題を踏まえた市全域での今後の方針づくりが課題となっていた¹。この課題は、道路の円滑な交通の確保や災害に強いまちづくりにも影響をもたらすため喫緊なものでもあった。本研究では、実態をベースにした議論がこの課題解決と効率的な将来像を目指す検討の双方に必要と考えた。そこで、藤沢市域での空洞発生や陥没に至る拡大過程のメカニズムについて臨床的な取り組みを行い、そこから得られた知見や分析から予測や評価へと展開していった。

2. 共同研究の体制と役割 本共同研究の体制と役割を図-2に示す。関係者は20名程で、議論の場として全員が参加する協議会形式をとり、空洞調査のモニタリング頻度にあわせ半年に一度を目安に会を開催した(図-3)。会では、三者がそれぞれの豊富な経験や知見・情報を持ち寄り、空洞調査結果が示す実態をベースに、ポテンシャル評価につながる考察や分析への見解の議論が展開された。また、各者間での活動も積極的で、官一学・官一民・学一民のそれぞれが都度打合せを行い、調査の実施や報告のほか分析や考察に必要な情報を即座に共有した。これを重ねることで徐々に協議会に向けて成果を作っていく流れができ、協議会の議事は毎回豊富で濃い内容となった。特に、本研究の躍進には藤沢市の体制と積極的な貢献が大きい。市は、研究開始時から道路の維持管理担当課だけでなく、道路陥没や空洞の要因となりうる下水道および準用河川や水路それぞれの管理部門と、道路GIS情報を扱う部門からのメンバーを編成していた¹。さらに市内の連携が非常に強く、部門を跨いでも常に調査結果や現場の情報が共有されていた。また、下水道台帳がGIS情報として提供されたことで、分析する内容の質が向上したほか、分析や議論に時間をかけることが可能となった。空洞原因調査においては、現地で空洞下にある下水道管がGL-3mと深く、途中地下

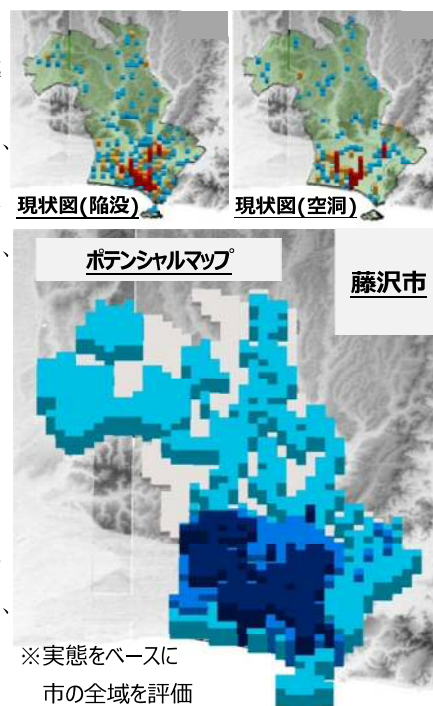


図-1 藤沢市の陥没/空洞発生状況図と潜在性を評価した陥没ポテンシャルマップ(3Dメッシュ、棒の高さが度合いを表す)

(c) 2017-2022 藤沢市道の効率的な道路陥没防止手法の研究協議会

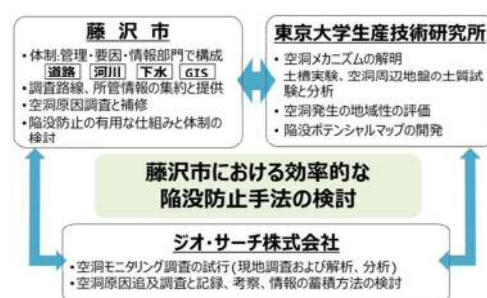


図-2 共同研究の体制と役割



図-3 協議会の様子

水が現れたとしても管まで掘削し、原因箇所の特定に至ったケースもあった。また原因追及の一環として行われた該当箇所の下水道カメラ調査結果の提供も迅速であった。表-1 に藤沢市から本研究体へ提供された情報等を掲載する。

3. 本共同研究の成果 本共同研究での活動や、空洞モニタリング調査や空洞原因追及調査で明らかになった実態などの個別の成果は、共同体のメンバーから学会等で発表されてきている¹⁾⁻¹³⁾。本稿では、2年間にわたる研究の総括として以下の3項の検討結果を報告する。

(1) 詳細な実態把握による今後の予測と陥没対策効果(半年ごとのモニタリング調査、空洞原因調査、陥没実態調査)

藤井ら¹²⁾の報告の詳述のとおり、半年ごとの空洞モニタリング調査の結果から、空洞が増加もしくは拡大するタイミングを詳細に把握することができた。これらデータをもとに今後の藤沢市では空洞数が増加すると予測された。一方で、陥没危険度の高い空洞については、市の空洞補修のペースが増加ペースより勝っているため、陥没の危険性が減少傾向になったという取組みの効果も把握することができた。また、市が行った陥没実態情報の集約は、当初から比べると整理項目や入力内容の質が向上し、研究終了時には発生傾向に関する分析が可能になった。図-4 はその一例として、集約した859件の陥没実態を用いて夏季の陥没件数の年推移と猛暑日の比較を示したものである。同じく、夏季の下水起因と報告のあった陥没件数と降雨量にも相関が見られた。このような実態に基づいて整理された知見は、今後の調査のタイミングや緊急出動の判断に使用し、陥没防止に活用することができる。また、空洞多発エリアでのモニタリング調査の成果として、研究期間の陥没件数がゼロであったことも成果のひとつといえる。

(2) 道路陥没ポテンシャルマップの開発(図-1、表-2)

まず、空洞モニタリング調査および陥没調査から、藤沢市域の空洞/陥没実態を把握した。次に、空洞原因追及調査や陥没調査の実態から藤沢市で考えられる空洞要因を挙げ、実態値との分析でポテンシャル因子と寄与度、つまりポテンシャル評価手法とともに値を定めていった。平行してマップでポテンシャルの地域性を表現し、空洞および陥没の平均発生頻度も算出した。

(3) 藤沢市の仕組みと体制

藤沢市は、研究終了の翌年度以降も道路陥没対策の高度化の実践を継続していく考えを示しており、具体策や方向性については以下の内容となっている。

- ・ 陥没対策の庁内連携：藤沢市では、これまでも道路部門と下水道部門で連携して陥没対策を講じているが、今後は更に、空洞調査の実施についても共同での取組体制を構築する。
- ・ 調査路線と頻度の設定：空洞ポテンシャルマップを活用し、路線の重要性を考慮して調査路線と頻度を定める。
- ・ 空洞情報の下水道部門での活用：本研究の空洞原因調査では、下水道管の不具合や損傷を発見した事例が多くあったことから、今後は計画的な維持管理を行う上で、補完的役割としての活用を検討している。
- ・ 情報の活用と共有化：データ管理と空洞情報の活用方法や部門間での共有化などの検討を行う。また、下水道以外の道路占有企業者に対しても、空洞情報の共有を図る取組みを進める。

4. 今後の展望

道路陥没予防は、空洞の探査精度に因るところが大きい。したがって探査技術は日々研鑽し向上されていくべきものであるが、今後は地下インフラの老朽化に伴い空洞が増えることも予想され、陥没対策という切り口での対応が望まれる。本研究はその手法を先進的に検討したもので、研究期間の2年間は、現場で実際に発生している空洞現象をベースに陥没予防策の深化を協働で追及し、共同研究であるからこそできた臨床のチャレンジも数多かった。また、協議会として全国の現場で事例となる成果の発信にも努めた。研究終了後も、藤沢市・東京大学・ジオ・サーチそれぞれが先進的な姿勢で世界の陥没対策の見本となる、より高度で効率的な対策を実践していくことが期待される。

表-1 藤沢市からの提供情報等

形式	種類・内容	形式	種類・内容
GISデータ	道路データ	画像	下水道管内調査データ
	空洞調査データ	数値	気象情報
	陥没情報(期間中に整理・集約)		・調査路線の提供
	下水道台帳(形式、年代、本管・取付管、人孔他)		・空洞補修
	地下水位情報(参考値)		・空洞原因調査
			・空洞原因追及調査での協働



図-4 藤沢市夏季陥没件数と猛暑日

表-2 藤沢市陥没ポテンシャル値と頻度 (頻度は試算中、2019年2月現在の値)

ポテンシャル値 (潜在確率)	平均発生頻度 道路延長当	
	陥没 箇所/km	空洞 箇所/km
High+ (70% -)	1.2	4.6
High (50-70%)	0.7	2.4
Middle (10-50%)	0.4	0.4
Low (0-10%)	0.1	0.3

¹⁾ 畠山ら(2018)：「藤沢市における効率的な道路陥没防止手法の実践的研究(官学産 共同研究)その1」第53回盤工学研究会(高松)

^{2,3,4)} 三木ら(2019)²⁾、黒沢ら(2019)³⁾、岡村ら(2019)⁴⁾：「道路陥没防止を目的とした路面下空洞原因の実態調査報告 その1」、「同左 その2」、「同左 その3」第54回盤工学研究会(大宮)

^{5,6,7)} 岡村ら(2018)⁵⁾、大原ら(2018)⁶⁾、瀬良ら(2018)⁷⁾：「藤沢市における効率的な道路陥没防止手法の実践的研究(官学産 共同研究)その2」、「同左 その3」、「同左 その4」第53回盤工学研究会(高松)

⁸⁾ 藤井ら(2018)：「藤沢市の効率的な道路陥没防止手法の実践的研究 -空洞モニタリング調査結果 空洞潜在性の考察-」土木学会第73回学術講演会(札幌)

⁹⁾ 瀬良ら(2018)：「藤沢市の効率的な道路陥没防止手法の実践的研究 -ポテンシャルマップ開発 空洞素因地域分析-」土木学会第73回学術講演会(札幌)

¹⁰⁾ M. OKAMURA et al (2018) : A STUDY OF PENETRATION RESISTANCE VALUE AT LOOSE AREA UNDER THE CAVITY : EXPANSION PROCESS OF SUB-SURFACE CAVITY, USMCA2018, IIIT Hyderabad, India

¹¹⁾ R. SERA et al (2018) : Development of Cave-in Potential Map of FUJISAWA City, USMCA2018, IIIT Hyderabad, India

¹²⁾ 藤井ら(2019)：「藤沢市における効率的な道路陥没防止手法の研究報告(官学産 共同研究) その2」第54回盤工学研究会(大宮)

藤沢市における効率的な道路陥没防止手法の研究成果報告(官学産 共同研究) その 2

道路陥没 空洞 発生と拡大

ジオ・サーチ株式会社 正会員 ○藤井 邦男
藤沢市道路河川部 北村 和利
同上 小島 佳幸
東京大学生産技術研究所 国際会員 桑野 玲子
ジオ・サーチ株式会社 米本 幸子

1. はじめに

本研究は、藤沢市・東京大学・ジオ・サーチ株式会社の官学産共同で地域に最適な道路陥没防止手法や体制の構築により「安全で安心な暮らしを築く」ことを目的としている¹⁾。研究内容は、藤沢市管理道路での空洞発生の地域特性や拡大メカニズムについて、モニタリング調査や開削調査の結果を基に、地盤条件や埋設管布設状況等の空洞発生要因の分析を行い、地域の空洞・陥没の潜在性・脆弱性の評価手法を確立するものである。本稿では 2 ヶ年の期間で実施したモニタリング調査結果の総括とその効果について報告する。

2. モニタリング対象路線の選定

藤沢市は、神奈川県中央南部に位置する相模湾に面した地域であり、市を横断する国道 1 号付近を境界として南北の地区に分けられ、土質分類としては、南部地区が細砂やシルトを含む砂質土、北部地区は関東ロームである。道路、下水道等の都市基盤は、昭和 30 年から昭和 40 年代の高度成長期に集中的な整備が行われてきたが、近年では老朽化による変状の顕在化への対応が課題となっている。路面下空洞調査は、管理道路 1,320.39km(8,661 路線)の内、主要な道路 300km(98 路線の測線長)を対象に 5 年ごとの実施計画を立案し、初回調査が平成 27、28 年度に実施された(表-1)。初回調査の結果を踏まえ、空洞発生と拡大の実態を把握するために、過年度の調査実施路線から 7 路線(南部地区：5 路線、北部地区：2 路線)、過去に護岸からの吸出し等による陥没や沈下が発生していた河川沿いの 3 路線、合計 10 路線(区間長 15.5km/測線長 25.8km)をモニタリング調査路線に選定した(表-2)。

3. 調査方法と実施状況

- (1) 一次調査(レーダ探査)：GL-1.5m まで探査可能な電磁波地中レーダを搭載した空洞探査車を用いて、半年ごとに調査路線のデータを取得する(図-1)。取得したデータは調査ごとに、空洞の可能性がある異常信号(以下「異常信号」という。)の解析作業を行い、その結果により空洞の拡大や発生を追跡する。
- (2) 二次調査(スコープ調査)：モニタリング対象空洞のうち地盤条件や埋設管布設状況等を考慮した代表箇所、異常信号の最浅点へ 50mm の調査孔を削孔のうえ、孔壁画像による舗装構成・空洞厚の計測と、空洞底部のゆるみ状況の確認を行った。
- (3) 実施状況：上記(1)、(2)の調査実施工程を表-3 に示す。

4. モニタリング調査結果総括

(1) 異常信号の発生数の推移：初回調査(平成 27、28 年度)、第 1 回から第 4 回モニタリング一次調査の各時点で新規に発見された異常信号の箇所数を図-2 に示す(第 4 回は新規発見なし)。南部地区では第 1 回モニタリングで 12 箇所、第 2 回モニタリングで 11 箇所、第 3 回モニタリングで 2 箇所の新規異常信号が確認され、同様に河川沿いでは第 1 回モニタリングで 4 箇所、第 2 回モニタリングで 3 箇所、北部地区ではモニタリング調査での新規異常信号は確認されなかった。南部地区において、初回調査での異常信号 83 箇所の 30%に相当する 25 箇所の新規分が 2 年間で発生したことは、地盤条件(細砂やシルトを含む砂質土が主体)や公共下水道の整備時期(昭和 26 年から着手され、昭和 39 年の東京オリンピックでセーリング会場になったことを契機に整備が加速)との関連性が高いと考えられる。

表-1 初回調査の実施結果

地区分類	測線長 (km)	空洞数 (箇所)	発生率 (箇所/km)
南部地区	90	154	1.7
北部地区	210	48	0.2
合 計	300	202	0.7

表-2 モニタリング調査の対象路線

地区分類	測線長 (km)	空洞数 (箇所)	発生率 (箇所/km)
南部地区	5.1	83	16.3
北部地区	14.6	4	0.3
河川沿い	6.1	-	-



図-1 空洞探査車と取得データ例

表-3 調査実施工程

初回調査(平成27、28年度)	平成27年12月 平成28年10月
第1回モニタリング調査	一次調査 平成29年4月 二次調査 平成29年6、8月
第2回モニタリング調査	一次調査 平成29年10月 二次調査 平成30年1月
第3回モニタリング調査	一次調査 平成30年4月 二次調査 平成30年7月
第4回モニタリング調査	一次調査 平成30年11月 二次調査 平成31年1月

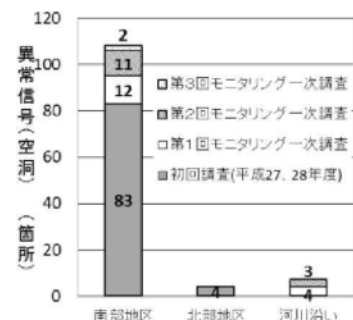


図-2 異常信号の箇所数

(2) 異常信号の陥没危険度：調査で確認した異常信号は、空洞の発生深度や規模に応じて、陥没危険度が高い順から「要緊急対応」、「危険度A」、「危険度B」および「危険度C」の4段階に分類整理される（図-3）。初回調査（平成27、28年度）、第1回から第4回モニタリング調査の各時点で新規に発見された異常信号の陥没危険度の割合を図-4に示す（第4回は新規発見なし）。初回調査時の「危険度C」の割合（63.2%）に対し、第1回および第2回一次調査時の「危険度C」の割合が高く（第1回：75.0%、第2回78.6%）なっていることが分かる。その一方で、初回調査から2年間で「要緊急対応」が4箇所発生しており、開削補修時の目視確認から、空洞の発生原因は下水道管継手部モルタルの充填不足（1箇所）と剥離（1箇所）、他工事で下水道管を破損させた際の粗雑な補修跡（2箇所）に起因していることが判明した。また、地盤条件として細粒分の多い砂質土であることが共通していた。

(3) 異常信号の拡大：モニタリング調査路線内では、現時点で119箇所の異常信号が確認されている。この内7%にあたる8箇所、空洞の拡大が確認された（表-4）。8箇所のうち最初の4箇所は初回調査から第1回モニタリング調査で空洞範囲が0.1～0.3m拡大、深度は変化なしであった。次の4箇所は第1回から第2回、第3回から第4回モニタリング調査で空洞範囲が0.1～0.2m拡大、深度も4箇所全て0.1m上昇した。特に、第1回から第2回の間には集中豪雨（最大雨量60mm）が発生しており、これが空洞拡大への誘因となった可能性がある。なお、これら8箇所は全て別箇所であり、2期連続で同一の空洞が拡大した例はなかった。また、モニタリング二次調査（スコープ調査）を6箇所（南部地区：3箇所、北部地区2箇所、河川沿い：1箇所）で実施したが、第1回から第4回で顕著な変化は確認されなかった。

(4) 総括：上記(1)～(3)のモニタリング調査結果から次の知見を得た。①空洞発生が顕在化するのは「素因（流出しやすい地盤条件、地下水、掘削工事履歴等）」と「誘因（地中埋設物の老朽化、雨・地震の影響等）」が重なり合った場所であり、当初の想定通り「南部地区」であった。②空洞の拡大と新規発生は一定速度の経年変化ではなく「急速」と「緩速」の2つの挙動を示す。③急拡大する空洞は下水道管との因果関係が強い。ただし、下水道管の不具合には「自然的要因（経年劣化による老朽化）」と「人為的要因（取付管の接続不良や他工事による破損）」が存在する。

5. モニタリング調査の効果

図-5はモニタリング調査結果から経過時間ごとの1kmあたりの空洞数推移を分析し、将来を予測したものであり、空洞補修を実施しない場合は、潜在する空洞が0～0.5箇所/kmの進行度で増加すると予想される。一方、図-6はモニタリング調査結果から道路陥没の可能性のある危険な空洞を順次補修した場合、残存空洞数がどのように推移するかを予測したものであり、一定水準を保った空洞の残存が予想されるが、道路陥没への危険性は低減される。本研究期間中にモニタリング対象区間では道路陥没が発生しておらず、モニタリング調査の効果が得られたことを確認している。

6. 効率的な陥没対策に向けた今後の課題と展望

本研究によって、藤沢市における空洞発生の実態やモニタリング調査の有効性が確認できた。

より効率的な陥没対策の推進には、調査方法の簡便性やデータ解析の即時性等が必要となる。近年、急速に発展する人工知能の活用による自動化・省人化技術、位置情報取得や三次元可視化システム等による調査の高度化が見込まれる。

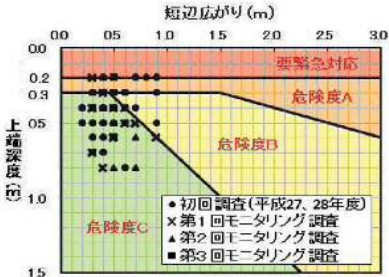


図-3 陥没危険度評価



図-4 異常信号の陥没危険度の割合

表-4 異常信号の拡大状況

No.	調査時期	深度 (m)	縦断 (m)	横断 (m)	陥没危険度	調査時期	深度 (m)	縦断 (m)	横断 (m)	陥没危険度	【参考】近接する下水道管	布設年	分類	管種
1		0.4	0.8	0.5	C		0.4	0.8	0.5	B	1969年			
2	平成28年10月 (初回調査)	0.3	2.3	0.5	A	平成29年4月 (第1回モニタリング)	0.3	2.3	0.8	A	1974年		合流式	ヒューム管
3		0.4	0.9	0.3	C		0.4	1.0	0.4	C	1962年			
4		0.4	0.6	0.3	C		0.4	0.6	0.4	C	1962年			
5	平成29年4月 (第1回モニタリング)	0.3	1.0	0.6	A	平成29年10月 (第2回モニタリング)	0.2	1.0	0.6	要緊急	1969年		合流式	ヒューム管
6		0.4	0.6	0.4	C		0.3	0.7	0.8	A	1968年			
7		0.7	0.5	0.4	C		0.6	0.6	0.5	C	1968年			
8	平成30年4月 (第3回モニタリング)	0.3	0.6	0.3	A	平成30年11月 (第4回モニタリング)	0.2	0.7	0.4	要緊急	1963年	合流式	陶管	

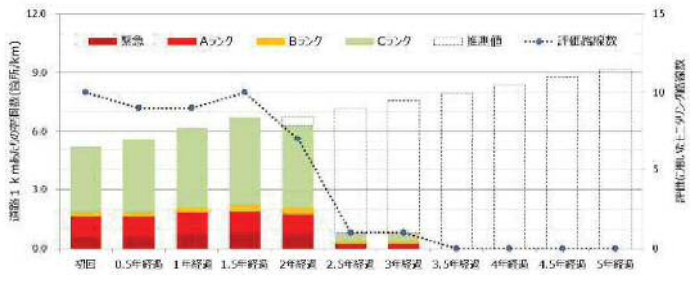


図-5 空洞累計数の推移(1kmあたり空洞数・モニタリング区間全体)

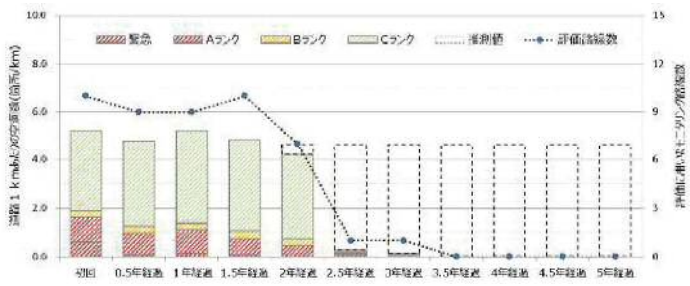


図-6 空洞補修を考慮した残存空洞数の推移 (1kmあたり空洞数・モニタリング区間全体)

1) 畠山ら(2018):藤沢市における効率的な道路陥没防止手法の実践的研究(官学産 共同研究)その1, 第53回地盤工学研究発表会(高松)

道路陥没防止を目的とした路面下空洞原因の実態調査報告 その1

道路陥没 空洞 地下水

ジオ・サーチ株式会社 正会員 ○三木 偉信
同上 藤井 邦男
藤沢市下水道部 張ヶ谷 昌彦
藤沢市道路河川部 小島 佳幸
東京大学生産技術研究所 国際会員 桑野 玲子

1. はじめに

本研究は、「安全で安心な暮らしを築く」ことを目的として、藤沢市が管理する道路の円滑な交通確保、災害・危機に強いまちづくりの実現に向けた、藤沢市、東京大学、ジオ・サーチの官学産連携による共同研究である。研究内容として道路陥没に着目し、初回の空洞調査から半年ごとの空洞モニタリング調査(合計 4 回)及び適時の開削調査が実施され、半年ごとの空洞モニタリング調査では陥没対策に必要な空洞が増加もしくは拡大するタイミングを詳細に把握し¹⁾、開削調査では合計 13 箇所の空洞について発生状況、周辺環境、発生原因の実態を確認した。開削調査を実施した 13 箇所の空洞は全て下水道管に起因しており、発生状況を(1)老朽化、(2)他工事による破損²⁾、(3)埋設管転換による取付け不良³⁾、(4)閉塞不良の 4 パターンに大別できた³⁾。本稿では、(1)老朽化に関する具体的な事例として「下水道本管の継手不良」と「下水道本管継手充填材欠損」について報告する。

2. 下水道本管の継手不良【事例 1】

(1) 空洞の発生状況

本空洞は、初回(平成 28 年 10 月)の空洞調査業務で発見された空洞であり、空洞規模は縦断 1.0m×横断 0.6m、発生深度は GL-0.3m であった。初回調査から 1 年後の第 2 回空洞モニタリング調査(平成 29 年 10 月)では、図-1 に示すように空洞の発生深度が 0.1m 上昇(路面から -0.3m→-0.2m)したことから緊急開削調査が実施され、空洞厚 0.18m の空洞が確認された。本空洞の同一路線及び近傍箇所にも空洞が多数発生している。発生原因は下水道本管継手の隙間から浸入水とともに土砂が流出し、空洞が形成されたものと推測される。

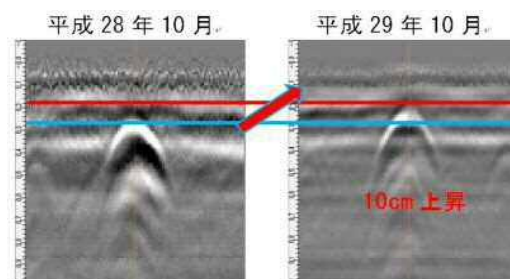


図-1. 拡大した空洞のレーダー信号の比較

(2) 地下水及び周辺地盤状況

本空洞の地下水及び周辺地盤状況は図-2 に示すように路面からアスファルト舗装 0.05m、路盤 0.20m、以下は砂質土であり GL-1.45m からは地下水が確認された。また、空洞下 GL-1.64m の位置には HPφ800 の下水道本管が布設されていた。本研究では空洞下端のゆるみ状況調査としてポータブルコーン貫入試験によるゆるみ調査を実施しているが、図-3 に示すように空洞下端～下水道本管まで 0.2m～0.5m の間隔でゆるみに強弱が確認されており、空洞の成長過程であったと推測される。

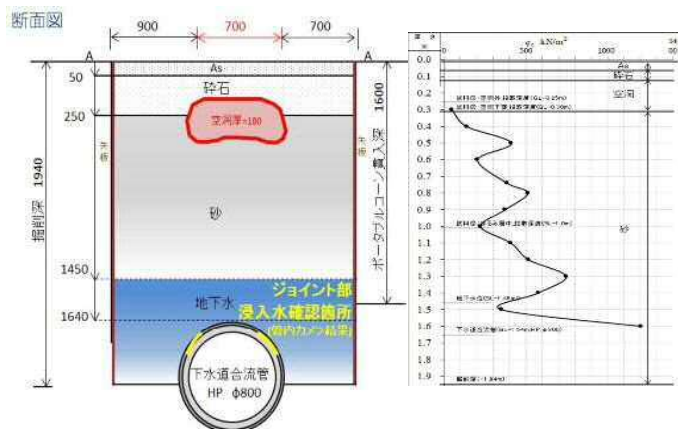


図-2. 空洞発生状況

図-3. ポータブルコーン貫入試験結果

(3) 下水道管の実態調査状況

GL-1.64m の位置に布設されている HPφ800 の下水道本管は昭和 44 年に敷設されたヒューム管であり布設後 49 年が経った管路である。開削補修時の実態調査では図-4、5 に示すように管路の外部に損傷等は確認されなかった。開削補修の事前に下水道本管内部のカメラ調査を行っており、管本体は健全であるものの、図-6 で示すように空洞直下の下水道本管継手 2 時、10 時方向から下水道本管内部への浸入水が確認されていた。



図-4. 開削状況写真

図-5. 下水道管継手写真

(4) 空洞発生の原因調査

(1)～(3)の実態調査結果から（空洞直下に布設されていた下水道本管に破損は無い、その他空洞形成の要因も無い、下水道本管は地下水以深に布設されていた）、本空洞の発生原因は、空洞直下 GL-1.64m の位置に布設されている下水道本管継手の隙間から浸入水とともに土砂が流出し、空洞が形成されたものと推測される。空洞発生原因となった下水道本管継手部の隙間についてはモルタルを詰め込み復旧された。



図-6. 管内カメラ状況写真

3. 下水道本管継手充填材欠損【事例 2】

(1) 空洞の発生状況

本空洞は、初回調査（平成 28 年 10 月）で確認された空洞であり、空洞規模は縦断 0.6m×横断 0.3m、発生深度は GL-0.3m であった。初回調査から 2 年後の第 4 回空洞モニタリング調査（平成 30 年 11 月）では空洞の発生深度が 0.1m 上昇（路面から

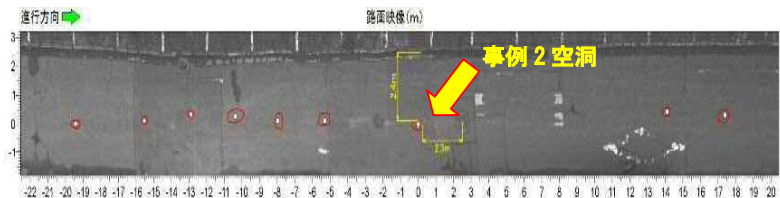


図-7. 路面状況写真で見える空洞多発状況

→0.3m→0.2m) したことから緊急開削調査が実施され、空洞厚 0.38m の空洞が確認された。図-7 に示すように同一路線及び近傍箇所にも空洞（赤丸箇所）が多数発生している。発生原因として下水道本管継手のモルタルの一部が老朽化により欠損し、その隙間へ土砂が流出し空洞が形成されたと推測される。

(2) 地下水及び周辺地盤状況

本空洞の地下水及び周辺地盤状況は図-8 に示すように路面からアスファルト舗装 0.05m、路盤 0.35m、以下は砂質土であり GL-1.6m で地下水が確認された。また、空洞下 GL-1.5m の位置には CPφ400 の下水道本管が布設されていた。空洞下端のゆるみ領域の確認としてポータブルコーン貫入試験を行った結果、図-9 に示すように GL-1.5m の下水道管まで貫入抵抗 500kN/m² 以下と全体的にゆるんだ地盤状況であった。

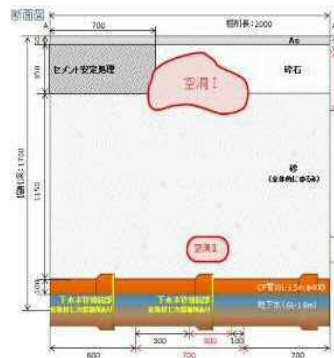


図-8. 空洞発生状況図

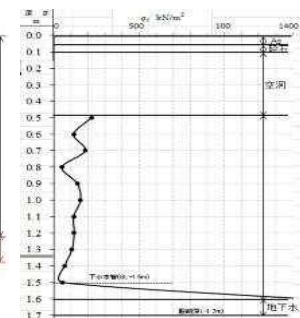


図-9. ポータブルコーン貫入試験結果

(3) 下水道管の実態調査状況

図-10 に示す GL-1.5m の位置に布設されている CPφ400 の下水道本管は昭和 38 年に敷設された陶管であり布設後 54 年が経った管路である。開削補修時の実態調査では図-11 に示すように、下水道本管継手で老朽化によるモルタルの欠損箇所が確認された。



図-10. 下水道管敷設状況写真



図-11. 継手欠損箇所

(4) 空洞発生の原因調査

(1)～(3)の実態調査結果から、空洞直下に布設されていた下水道本管継手のモルタルの一部が老朽化により欠損し、その隙間から周辺の土砂が下水道本管内部へ流出し空洞が形成されたと推測される。空洞発生原因となった下水道本管継手の欠損箇所についてはモルタルを詰め込み復旧された。

4. まとめ

本研究では 2 年間に及び、空洞の発生原因を究明する実態調査に取組んだ。その中で、下水道本管に明らかな破損が無い場合においても老朽化に伴う下水道本管継手の隙間から土砂が流出し、空洞が発生するという新たな知見を得た（通常の空洞補修では確認されることは無く、原因不明として報告されることが多かった）。同様の条件下にある下水道本管では、現時点で空洞が発生していない場合でも、今後発生及び拡大する可能性があると言える。現状の下水道管内カメラ調査では下水道本管継手の隙間についての調査・確認は困難である。今後は、地中レーダーを活用した空洞調査結果に、下水道管内カメラ調査結果を重ね合わせることで実態を的確に把握し、その情報で道路陥没対策方法を検討していくことも、道路陥没防止手法の高度化へとつながると考える。

- 1) 藤井ら (2019): 藤沢市における効率的な道路陥没防止手法の研究報告 (官学産 共同研究) その 2, 第 54 回地盤工学研究発表会 (大宮)
- 2) 黒沢ら (2019): 道路陥没防止を目的とした路面下空洞原因の実態調査報告 その 2, 第 54 回地盤工学研究発表会 (大宮)
- 3) 岡村ら (2019): 道路陥没防止を目的とした路面下空洞原因の実態調査報告 その 3, 第 54 回地盤工学研究発表会 (大宮)

道路陥没防止を目的とした路面下空洞原因の実態調査報告 その2

道路陥没 空洞 埋設管

ジオ・サーチ株式会社

正会員 ○黒沢 菜月

同上

正会員 岡村 雅俊

藤沢市道路河川部

北村 和利

藤沢市道路河川部

平田 良祐

東京大学生産技術研究所

国際会員 桑野 玲子

1. はじめに

カルスト地形のドリーネやソイルパイプに起因した陥没など、自然界においてしばしば発生する地表面の陥没に対し、地形・地盤などの分野においてはアメリカを中心に、これまで原因究明や議論が進められてきた。一方、日本では都市部を中心に年間 4,000 件前後の道路陥没が発生している⁽¹⁾。これらは様々な状況が複合的な原因で発生していることが多いため、空洞の発生、拡大メカニズムや条件の解明は研究段階にある。これは、交通規制の早期開放を最優先に補修施工が進められる道路陥没に対し、十分な原因究明や記録を行う時間的余裕がないことも、ひとつの理由として挙げられる。このため道路陥没の原因とその対策について、ミクロ的な観点からの議論を掘り下げていく必要がある。

こうしたなか、本研究では藤沢市×東京大学×ジオ・サーチの官学産の連携体制で、地域に最適な道路陥没防止手法及び体制の検討を実践的に進めた⁽²⁾。具体的には、地中レーダを用いた半年ごとの空洞モニタリング調査を中心に、陥没危険度の高い空洞を開削補修する際に、空洞の発生状況や周辺地盤について詳細な調査を行った⁽³⁾⁽⁴⁾。この調査では三者の連携体制により、詳細な空洞発生状況の記録・分析が可能となった。本稿では、開削調査を行った 13 箇所の空洞のうち、他工事起因の下水道管破損により発生した空洞事例を 2 例報告し、土質試験結果もあわせて発生状況や地盤条件の観点より、考察を行った。

2. 下水道取付管破損【事例 1】

当該空洞は、第 1 回モニタリング調査(2017 年 4 月)時点では確認されず、半年後の第 2 回モニタリング調査(2017 年 10 月)時に初めて確認された。同年 12 月に開削調査を行った結果、空洞上端深度 0.15m、縦断方向広がり 0.30m、横断方向広がり 0.41m、厚さ 0.50mの空洞を確認した。周辺状況を図 1 に示す。

当該空洞の発生原因を明らかにするため空洞下を GL-1.90m まで掘削したところ、図 2 のように GL-1.15m に水道本管(道路縦断方向)、GL-0.80m に下水道取付管(道路横断方向)が確認された。この下水道取付管(陶管)のうち、水道本管と交差する点を中心とした一部範囲が、塩ビ管に置換されている状況を確認した。置換された箇所の接合部は、断面処理や接合部へのモルタル充填などの適切な処理が行われておらず、わずかに開口した部分が見られた。このような状況から、接合部の開口箇所から土砂が流出したことで空洞が発生したと考えられる。上記の発生原因及び周辺状況より、水道本管を布設する際に下水道取付管を破損してしまい、現地での補修が不十分だったため経年的に開口部が生じ、空洞発生原因になったと推測される。



図 1 周辺状況(事例 1)

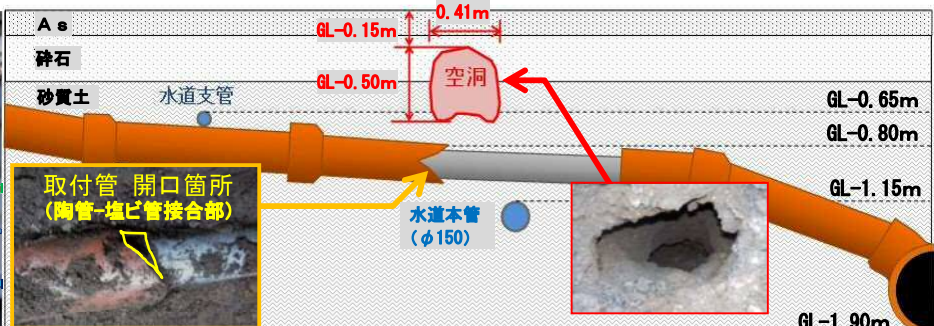


図 2 取付管破損状況断面図(横断方向)

3. 雨水管の継手部破損【事例 2】

本空洞も事例 1 と同様、半年で発生した事例である。2017 年 12 月に開削調査を行った結果、空洞上端深度 0.20m、縦断方向広がり 3.20m、横断方向広がり 0.40m、厚さ 0.62mの空洞を確認した。この空洞は、縦方向に長い形状が特徴的であった。周辺状況を図 3 に示す。

当該空洞の発生原因を明らかにするため開削したところ、管路工事等の掘削幅で空洞が広がっていたことが分かった

(図 4)。GL-1.90mまで掘削した結果、GL-1.30mに継手部が破損した雨水管、それと並行するようにGL-1.24mに水道管を確認した。このうち雨水管の補修箇所を詳細に確認したところ、雨水管継手の開口箇所を破壊時の破損部材で覆

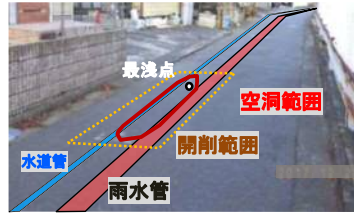


図 3 周辺状況(事例 2)

い、モルタルで養生した形跡が見られた(図 4)。しかし、この補修部材は管体から剥離し、わずかな隙間が形成されていた。上記の発生原因及び周辺埋設状況より、水道本管布設時に雨水管継手を破損したときに現地で補修を試みたが、大雨等の外的要因により補修箇所が剥離し、土砂が流出したと推測される。特に、本空洞が最初に発見される 4 ヶ月前には、最大雨量 60mm/h を超える豪雨が記録されていることから、この豪雨が空洞発生

4. ポータブルコーン貫入試験結果及び土質試験結果

上記 2 例では、空洞発生原因箇所付近に近接している可能性が高いと考えられる空洞中心の底部で、ポータブルコーン貫入試験による貫入抵抗値の計測を行った。その結果、事例 1(図 5_左)と事例 2(図 5_右)は共に、深度と比例した貫入抵抗値の上昇がみられた。このうち、事例 1 は空洞下端深度と原因深度の差がわずかに 0.2m だったため、特徴ある傾向はみられなかった。一方の事例 2 については、実際の空洞原因箇所が空洞中心から 1m ほど水平方向へ離れていたため、貫入不可深度が原因深度より浅くなったと考えられる。両事例の結果より、空洞発生原因箇所と空洞との位置関係が不明確な状況下において、貫入位置を定めることの難しさが浮き彫りとなった。

上記 2 例に対し、空洞下部(事例 1 では空洞下 0.1m、事例 2 では空洞下 0.4m)と空洞底部(事例 1 では空洞最深处が砕石交じりで試料採取に適さなかったため、最深点よりも浅い箇所で採取)、及び空洞脇(非空洞箇所)にて試料を採取し、粒度分析を行った(図 6)。その結果、各事例それぞれに、空洞下部と空洞底部の粒度分布が、同様の粒度分布を示していた(グラフ中それぞれ青と赤)。また、空洞脇で得られた試料のうち、事例 2 で得られた試料からは、高い細粒分含有率が確認された⁽⁵⁾。この空洞脇(事例 2)の原地盤は粘性土(関東ローム)で、大原ら(2018)は同試料の特徴として細粒分含有率のほか、著しい団粒化を挙げており、耐食性が強かったものと考えられる。それに対し、事例 2 の空洞底部及び空洞下部で採取された砂質土は、現地状況より縦断水道管布設時の埋戻材と推定される。

上記の結果より、事例 1 では流動性の高い砂質土が下方へ流出することで、事例 2 では耐食性の強い地盤内に敷かれた流動性の高い砂質土のみが一気に吸い出されるような形で流出したことが、急速な成長の原因であると考えられる。

5. まとめ

従来より下水道管と路面下空洞の関係性は報告されているが、本稿では他工事により破壊された下水道管が原因となり、土砂が流出したことで生じた空洞の実態を報告した。また、本事例からは下水道管の破損に加え、流動性の高い砂や豪雨といった要因により、危険性の高い空洞が短期間に発生・成長する可能性についても明らかとした。こうした空洞の急成長は、局部的であれ条件の類似する別地点においても、同様に発生すると考えられる。

このほか、本稿で論じた他工事起因の下水道管破損事例より、下水道管の布設深度・方向により被害が発生しやすい条件があること、そして破損時の補修方法が空洞予防の鍵になることも明らかとなった。こうした実態を明らかとし、道路掘削工事を行う関係者とも共有することにより、効率的な陥没対策に繋げていきたい。



図 4 空洞周辺断面図(横断方向)

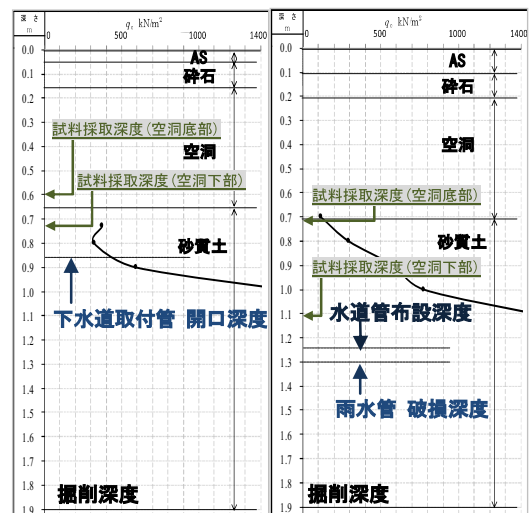


図 5 ポータブルコーン貫入試験結果
(左: 事例 1、右: 事例 2)

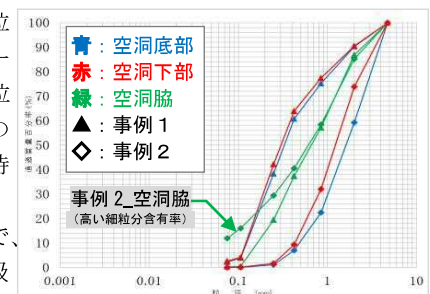


図 6 粒度分布図

(1) 横田ら(2012):国総研資料 第 668 号下水道路施設に起因する道路陥没の現状(2006—2009 年度)

(2) 島山ら(2018):藤沢市における効率的な道路陥没予防手法の実践的研究(官学産 共同研究)その 1, 第 53 回地盤工学研究発表会(高松)

(3) 藤井ら(2019):藤沢市における効率的な道路陥没防止手法の研究報告(官学産 共同研究)その 2, 第 54 回地盤工学研究発表会(大宮)

(4) 三木ら(2019):道路陥没防止を目的とした路面下空洞原因の実態調査報告その 1, 第 54 回地盤工学研究発表会(大宮)

(5) 大原ら(2018):藤沢市における効率的な道路陥没予防手法の実践的研究(官学産 共同研究)その 3, 第 53 回地盤工学研究発表会(高松)

道路陥没防止を目的とした路面下空洞原因の実態調査報告 その3

道路陥没 空洞 埋設管

ジオ・サーチ株式会社 正会員 ○岡村 雅俊
同上 阿部 匡彦
藤沢市道路河川部 西山 博光
藤沢市道路河川部 平田 良祐
東京大学生産技術研究所 国際会員 桑野 玲子

1. はじめに

本研究は、藤沢市×東京大学×ジオ・サーチの官学産連携による共同研究として、地域に最適な道路陥没防止手法や体制の検討を通じ、「安全で安心な暮らしを築く」ことを目的としている。本稿ではこのうち、三木ら¹⁾及び黒沢ら²⁾によって詳述された空洞発生事例を含む、本研究の開削調査で得られた空洞発生事例の総括を行った。

2. 現状認識と本研究での対応

路面下空洞に起因した道路陥没を防止するには、空洞部の補修のみでなく空洞発生原因を根治し、再発を防止することが重要である³⁾。しかし、実務においては地盤条件（地盤材及び地下水位等）や交通規制の時間的制約などの理由から、原因を明らかに出来ないまま空洞を補修する事例が少なくない。道路陥没防止への取り組みが先進的な藤沢市においても、路面下空洞の開削補修における原因不明の割合は69%であり⁴⁾、実現場における原因特定の難しさを物語っている。こうしたなか、本共同研究では官学産の緊密な連携により、空洞発生原因の究明や土質試験・分析を実施し、路面下空洞の実態を詳細に把握することができた。

3. 開削調査の概要

藤沢市では、陥没危険度の高い空洞から補修を進める方針で陥没防止対策を図っている⁴⁾。この方針に従って行われた空洞補修時に13箇所を開削調査を行い、空洞発生原因の究明や記録及び貫入試験や土質試料の採取・分析を行った。また、原因追求として近接下水道管の管内カメラも実施され、現地状況を多面的に把握した。

(1) 開削調査及び記録：開削調査に際しては空洞規模・発生状況や周辺埋設物の布設状況を記録した。また、空洞下に存在する空洞原因物の深度まで掘削し、空洞発生原因及び周辺状況を目視確認したうえで、空洞発生状況の推定も行った。

(2) 簡易貫入試験：空洞直下のゆるみ領域を客観的に比較・分析することを目的に、ポータブルコーン貫入試験を実施した。本試験の結果より、貫入抵抗分布から空洞成長過程を推定する手法の研究も、本共同研究内で進めている⁵⁾。

(3) 土質試料の採取と分析：一部の空洞箇所では空洞直下と空洞下ゆるみ部及び空洞脇を対象に、ブロックサンプリング法（押切り式）による土質試料採取を行った。この分析結果より、空洞周辺の土質的特性を把握することができた。

4. 開削調査の結果

上述の開削調査を行った結果、全箇所とも下水道管に起因した空洞あることが明らかとなり、12箇所の詳細な空洞発生原因を特定した。本稿では、その原因が発生した状況ごとに、空洞の発生要因を分類した（図1）。

	(1)下水道管継手部の老朽化	(2)埋設管輻輳箇所での取付不良	(3)他工事で的人為的損壊	(4)下水本管の閉塞不良	(5)詳細不明
発生状況写真					-
箇所数	7箇所/13箇所(54%)	2箇所/13箇所(15%)	2箇所/13箇所(15%)	1箇所/13箇所(8%)	1箇所/13箇所(8%)
説明	下水道管継手部や接続部が劣化により開口し、隙間より土砂流出	施工困難な埋設管輻輳箇所での下水道管の取付不良により土砂流出	他工事で下水道管を破損、粗雑な補修跡が雨等で開口し土砂流出	下水道本管の取付管接続部跡が未閉塞のまま残置され土砂流出	空洞下に開口した下水取付管があるが、詳細な空洞発生状況は不明

図1 空洞発生要因の分類

(1) 下水道管接続部の老朽化：開削調査実施箇所の半数にあたる7箇所は、下水道管継手部及び取付管接続部の老朽化が要因となって生じた空洞であった。具体的には、下水道管継手部或いは接続部が経年的な劣化等で開口し、開口箇所周辺の土砂が流出したものである。三木ら¹⁾が報告している、継手部の隙間から土砂が流出し空洞化した事例等がある。

(2) 埋設管輻輳箇所での取付不良：開削調査実施箇所の15%にあたる2箇所は、埋設管が輻輳して布設された状況下にお

いて、下水道管の取付不良が確認された。当該状況の実例について、次章にて詳述する。

(3) 他工事での人為的損壊：開削調査実施箇所での15%にあたる2箇所は、下水道管が他工事により破壊され、それにより生じた開口部が原因となる空洞であった。具体的な発生状況や原因は黒沢ら²⁾が報告している、他工事により破壊・補修された下水道管が、補修の粗雑さにより開口し土砂の流出に繋がったものである。

(4) 下水本管の閉塞不良：13 箇所のうち 1 箇所のみだが、下水本管の取付管接続部跡が未閉塞の状態に残置されており、その開口部から土砂が流出し空洞化した事例もみられた。当該箇所では閉塞を試みた痕跡もなく、背景は不明である。

5. 埋設管輻輳箇所に生じた空洞の事例

本研究で確認された空洞のうち、都市部での事例となる埋設管の輻輳が影響したケースを報告する。本空洞の周辺は、戦前より栄えていた市街地であり、多数の埋設管が布設されている。過年度空洞調査(2016 年 10 月)から第2回モニタリング調査(2017 年 10 月)までの1年間、本空洞の規模や深度に変化は見られなかった。開削調査の結果、空洞上端深度 0.3m、厚さ 0.3m、縦断方向広がり 2.7m、横断方向広がり 0.6m の、細長い形状の空洞を確認した(図2)。本空洞は下水人孔躯体に隣接して発生しており、空洞直下に位置する下水道管(1条2列)と人孔躯体の取付部に、僅かな隙間がみられた(図3)。このことから当該部位より土砂が流出し、本空洞

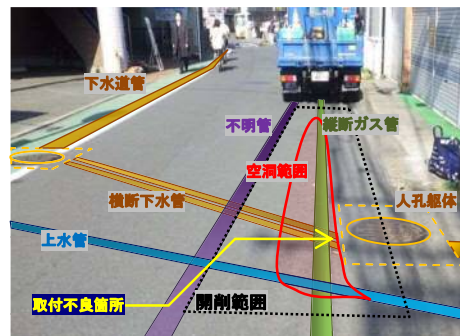


図2 空洞箇所の周辺状況



図3 開削範囲内の管路輻輳状況と空洞発生原因箇所

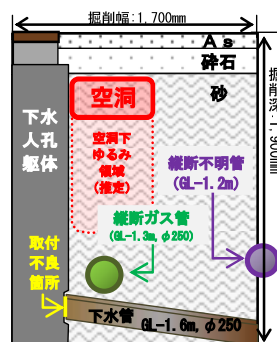


図4 空洞周辺の横断面図

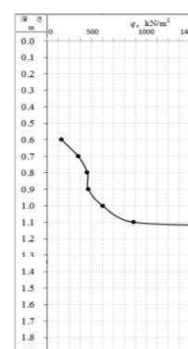


図5 貫入抵抗値

が発生したと推定される。この隙間は、躯体側の継手部に対し、下水道管の接合が不十分であったため、生じたものであった。また、当該下水道管は縦断ガス管を避けて布設されており、小径管を2列とすることで流量を確保しつつ、下水道管の管頂部とガス管底部の干渉を避けたものと考えられる(図4)。空洞が細長い形状である点についても、空洞成長過程においてガス管に沿って空洞及び地盤のゆるみが延伸し、開削時の空洞形状につながった可能性が高い。

こうした現地状況より、本空洞は埋設管輻輳箇所での取付不良が要因となって生じたものと推定される。空洞中心の底部に貫入試験を行った結果、空洞直下に 0.5m 厚のゆるみが確認され、GL-1.1m で貫入不可となった(図5)。ただし、試験位置直下の GL-1.3m にガス管(φ250mm)が布設されており、当該管路が貫入抵抗値に影響した可能性も考えられる。

6. 効率的な陥没対策に向けて

本調査で得られた空洞発生状況の詳細な記録や発生傾向は、本研究で開発した「藤沢市陥没ポテンシャルマップ」において、市に潜在する空洞の因子及び寄与度の大きさに反映されている⁶⁾。このマップを活用し、路線の重要性を考慮したうえで空洞調査を計画・実施することで、道路管理者は道路陥没対策を効率化することができる。また、空洞の実態や発生原因について、道路掘削工事の施工件数が多い道路占用企業者とも情報を共有・活用し、空洞の発生に留意した施工へと繋げることで、陥没の原因となる空洞を未然に防ぐことも可能となる。このため藤沢市では、道路占用企業者との会議の場を活用し、市内で発生している路面下空洞の発生状況等についての情報共有を進めている。

2016 年 11 月に福岡市博多区で発生した博多駅前道路陥没事故以来、道路陥没に対する市民の意識は格段に高まっている。また、2018 年 9 月 30 日に施行された改正道路法では、占用物件の損壊による道路構造や交通への支障を防ぐことを目的に、占有者による物件の維持管理義務が規定された。このように道路陥没を取り巻く環境変化に対応して、道路陥没に繋がる空洞の実態解明により陥没対策の高度化に尽力し、「安全で安心な暮らし」を築いていきたい。

1) 三木ら(2019):道路陥没防止を目的とした路面下空洞原因の実態調査報告 その1,第54回地盤工学研究発表会(大宮)

2) 黒沢ら(2019):道路陥没防止を目的とした路面下空洞原因の実態調査報告 その2,第54回地盤工学研究発表会(大宮)

3) 桑野ら(2010):老朽下水管損傷部からの土砂流出に伴う地盤内空洞・ゆるみ形成過程に関する検討,地盤工学ジャーナル vol15, No. 2, 349-361

4) 畠山ら(2018):藤沢市における効率的な道路陥没防止手法の実践的研究(官学産 共同研究)その1,第53回地盤工学研究発表会(高松)

5) M. OKAMURA et al. (2018): A STUDY OF PENETRATION RESISTANCE VALUE AT LOOSE AREA UNDER THE CAVITY: EXPANSION PROCESS OF SUB-SURFACE CAVITY, USMCA2018(India)

6) 瀬良ら(2019):藤沢市における効率的な道路陥没防止手法の研究成果報告(官学産 共同研究)その1,第54回地盤工学研究発表会(大宮)