

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

道路陥没 予防保全

藤沢市道路河川部

正会員 ○畠山 瑠美子

同上

中村 栄一

藤沢市下水道部

張ヶ谷 昌彦

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

三木 偉信

1.はじめに

藤沢市は、東京都心から 50km 圏内の神奈川県中央南部に位置し、相模湾に面した地域である。市域は南北約 12km、東西約 7km で、面積は 69.57km² となっている。人口規模は、平成 29 年 12 月末時点で 429,249 人となり、湘南地域の中核都市として成長を遂げてきた都市である。湘南の海・みどり・公共交通網などに恵まれた環境を活かし、門前町や東海道の宿場町から、別荘・保養地を経て発展してきた都市の成り立ちを踏まえつつ、昭和 30 年初頭から、職住一体の都市を目標に都市づくりを進めてきた。道路、下水道などの都市基盤は、昭和 30 年から昭和 40 年代の高度成長期に土地区画整理事業や街路事業などで集中的に整備を行ってきた。近年、急速にこれら都市基盤の老朽化による変状が顕在化し、それへの対応が大きな課題となっている。そのようななかで、平成 21 年度から橋りょう点検を開始し、その後、同様な道路施設点検の実施による適切な管理に努めており、平成 26 年度策定の「藤沢市道路舗装修繕計画」に基づき、平成 27 年度から主要な道路の路面下空洞調査に着手した。本文では、藤沢市、東京大学及びジオ・サーチ株式会社による官学産共同研究を進めるにあたり、藤沢市管理の道路における陥没や路面下空洞に関する藤沢市の取り組みについて報告する。

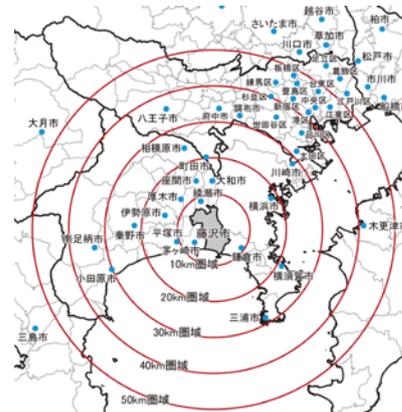


図-1 藤沢市位置図

2.研究の背景

路面下空洞調査は、藤沢市管理道路 8,661 路線、1,320.39km の内、主要な道路を対象に 5 年ごとに実施することとした。調査対象路線は、98 路線、延長 300km とし、初回調査は、平成 27、28 年度に実施した。この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、陥没の危険性が高い順から「要緊急対応」、「陥没危険度 A」、「陥没危険度 B」及び「陥没危険度 C」の 4 段階に分類整理している。平成 27 年度の調査では 34 件、平成 28 年度の調査では 168 件の異常信号箇所が確認された(表-1)。異常信号箇所が 202 件と多く、5 年後の調査実施までにすべての箇所の原因調査・補修を完了させることは財政上からも困難であったため、4 段階に分類した異常信号箇所への対応方針を定めることが必要となった。検討を重ねた結果、「陥没危険度 B」以上を原因調査・補修の対象と定め、「陥没危険度 C」は、原則、次回調査時まで経過観察の対象とすることを藤沢市の対応方針とした。しかしながら、藤沢市管理道路では今回の調査が初めての試みであり、空洞の発生や拡大に関する傾向が明らかでなかったため、対応方針の根拠づくりが課題となった。このため、空洞や陥没の発生と拡大のメカニズムを可視化する方法をつくり、路線ごとの最適な調査サイクルを設定することを目的に本研究を進め、藤沢市の「安全で安心な暮らしを築く」ことにつなげるとともに、財政的にも配慮した道路陥没防止対策を進めていくための仕組みを作り上げることを目指している。

なお、本研究を進めるための役割分担として、藤沢市は道路のフィールド提供と「陥没危険度 B」以上の原因調査・補修を担当し、東京大学生産技術研究所、ジオ・サーチ株式会社は、2 ヶ年の研究期間内にモニタリング調査を 4 回実施し、調査結果を基に空洞発生、拡大メカニズムの分析を担当することとした。

表-1 各年度の危険度ごとの異常信号箇所数と割合

	異常信号 箇所数	要緊急対応		陥没危険度 A		陥没危険度 B		陥没危険度 C	
		箇所数	割合(%)	箇所数	割合(%)	箇所数	割合(%)	箇所数	割合(%)
平成 27 年度	34	2	5.88	8	23.53	7	20.59	17	50.00
平成 28 年度	168	18	10.71	30	17.86	10	5.95	110	65.48
合計	202	20	9.90	38	18.81	17	8.42	127	62.87

3.藤沢市の共同研究への参加・協力体制

藤沢市の研究への参加体制は、道路の維持管理担当課だけでなく、道路陥没や路面下空洞の要因となる下水道及び準用河川や水路のそれぞれの管理者が加わっている。これにより、それぞれが持つ情報を提供し合い、異常信号箇所の原

因調査・補修に協力して対応できる体制を整えた。さらに、GIS 業務の担当課を加え、共同研究者へ GIS 上の道路情報を提供するとともに、異常信号箇所や補修に関する情報を GIS 上で管理できるような体制も整えた。

4.道路上での陥没発生傾向

藤沢市管理道路では、年間 100 件を越える陥没が発生している。その陥没発生件数の内、約 85%が南部地区で発生しており、鶴沼地区が 43%を占め、突出している(図-2、図-3)。藤沢市域を土質で分類すると、南部地区は細砂やシルトを含む砂質土、北部地区は関東ロームとなっている。公共下水道は、昭和 26 年から藤沢、鶴沼及び片瀬地区で合流式による整備に着手し、昭和 39 年の東京オリンピックでセーリング会場となったことを契機に整備を加速して行った経緯がある。このため、南部地区で多くの陥没が発生する原因としては、砂質等土質と道路施設や公共下水道の整備時期との関連性が特に高いものと考えている。平成 27 年度から平成 29 年 12 月末時点までに発生した陥没の原因を分析すると、図-4 のようになっている。陥没発生原因の究明に本格的に取り組むこととした平成 29 年度以前は、明らかに原因が特定できない限り、原因不明で整理しているため、不明が約 70%を占めているが、特定できた原因を分類すると、下水道起因と、道路起因が多くを占めている。また、下水道起因の場合は、管の破損によるものが多く、道路起因の場合は、道路集水樹の取付管破損によるものが陥没発生原因の多くを占めている。



図-2 南北及び 13 地区割図

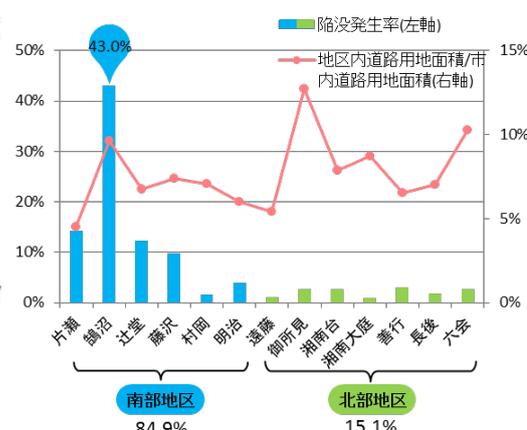


図-3 13 地区ごとの陥没発生率と道路用地率 (陥没発生率:平成 27 年度～平成 29 年 12 月末時点)

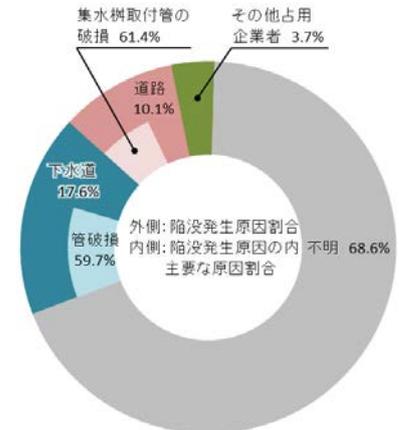


図-4 陥没発生原因 (平成 27 年度～平成 29 年 12 月末時点)

5.道路陥没及び空洞への対応

藤沢市では、道路上で発生した陥没の多くが市民からの通報によって発見されている。その対処については、市民から陥没発見の通報を受け、道路管理者が現地を確認した上で、まずは応急復旧を行っている。そのなかで、下水道施設が陥没箇所へ近接する場合は、下水道管理者への協力を求め、下水道の管内調査を実施した後、陥没発生原因と陥没の補修を行っている。今回の路面下空洞調査で異常信号を確認した場合には、図-5 に示すフローに従い対応している。

「陥没危険度 A」及び「陥没危険度 B」については、原則、フローに従い対応しているが、同年度に舗装等の工事が実施される場合は、工事に対応することとしている。

なお、これまでに「要緊急対応」の対応で即通行止めを行い、修繕を実施した事例はない。いずれの場合についても、空洞発生原因の追究を行い、他企業占有物が原因の場合は、協議の上費用の請求を行っている。

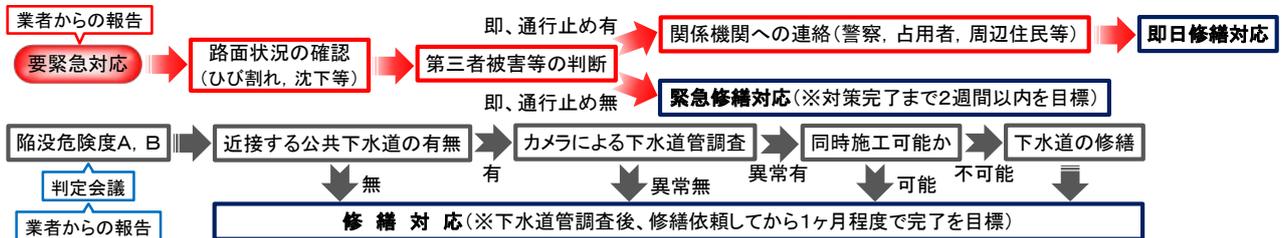


図-5 路面下空洞調査の異常信号ごとの対応フロー(上：要緊急対応 下：陥没危険度 A, B)

6.陥没及び空洞情報の集約の試行と今後の展望

路面下空洞調査で確認した異常信号箇所や、修繕に関する情報などは藤沢市の GIS 上に入力している。また、異常信号箇所の補修にあたっては、本研究の中で、補修実施日や空洞の状況、補修状況等を記載する空洞補修記録票の様式を検討し、情報の蓄積・共有を開始した。

現在、陥没に関しても路面下空洞調査の異常信号データと同様に、GIS 上での履歴管理を行うべく、陥没発生日や陥没規模、補修状況等のデータ収集を進めている。現在は試行段階であるが、これら積極的な情報の共有は、陥没の早期発見に繋がるとともに、地域に最適な補修方法を検討する上で有益な資料になると考えている。今後は、本研究の取組みを通して効率的な道路陥没の未然防止を図り、「安全で安心な暮らしを築く」ことに努めていきたい。

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

道路陥没 空洞 発生と拡大

ジオ・サーチ株式会社 正会員 ○岡村 雅俊
 同上 阿部 匡彦
 同上 藤井 邦男
 藤沢市道路河川部 北村 和利
 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¹⁾。具体的内容としては藤沢市の管理する道路での空洞発生・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中心に地盤条件や埋設管敷設状況等の評価因子と併せて分析・検討を行い、空洞潜在性の数値化を目指している²⁾。特に、本研究のモニタリング調査は半年間隔で複数回行うことから、空洞の拡大が恒常的であるか否かを検討出来る点において、同種の調査は過去に例を見ない。本稿ではこの研究うち、モニタリング調査と開削調査の結果を報告する。

2. モニタリング対象路線の選定

平成 27・28 年度に実施された路面下空洞調査で確認された空洞³⁾の発生率を地区別に示したものが、表-1 となる。政令市を除く市町村における空洞発生率の全国平均(0.6 箇所/km)⁴⁾と比較し、南部地区の空洞発生率が突出している。このため本研究では、過年度調査の対象路線から7路線(南部地区;5路線、北部地区;2路線)と、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(L=15.5km)を調査路線とした。なお、過年度調査にて報告された空洞のうち、空洞規模(図-1)に基づいた陥没危険度評価(図-2)³⁾にて“要緊急対応”及び“危険度 A・B”に分類される箇所の殆どは、既に補修が完了している。このため本研究では、空洞の初期段階と考えられる危険度 C の空洞を主な調査対象とした。

表-1 過年度調査の空洞発生率

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

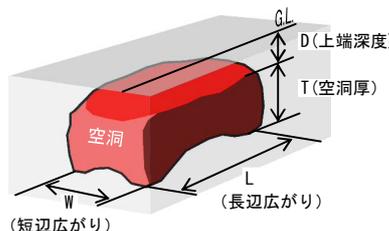


図-1 空洞規模の採寸点

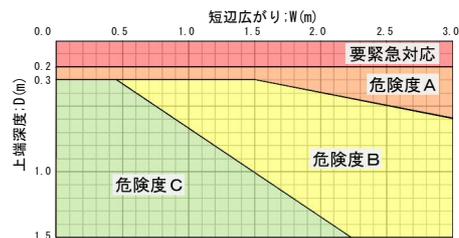


図-2 陥没危険度評価

3. 調査手法

- 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、半年間隔で調査路線のデータを取得する(図-3)。取得したデータは調査ごとに異常信号(空洞)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。モニタリング調査中に拡大・発生した空洞のうち、陥没の恐れがあると判断された箇所については速やかに報告することで早期補修につなげ、市道の安全確保にも寄与している。
- スコープ調査**：モニタリング対象空洞のうち代表箇所を選定し、最浅点へ 50mm の調査孔を削孔のうえ、柱状写真による舗装構成・空洞厚の計測と、ポータブルコーン貫入試験によるゆるみ状況の測定を行った。



図-3 空洞探査車と取得データ例

4. モニタリング結果

- レーダ探査**：調査路線内では、現在までに 117 箇所の空洞が確認されている(補修済みの箇所を含む)。このうち 6%にあたる 7 箇所、空洞の拡大が確認された(図-4)。7 箇所のうち 4 箇所は第 0 期(過年度調査; 2016 年 10 月～第 1 回モニタリング調査; 2017 年 4 月)に空洞範囲が 0.1~0.3m 拡大したもので、深度には変化が見られなかった。これに対し第 1 期(第 1 回モニタリング調査; 2017 年 4 月～第 2 回モニタリング調査; 2017 年 10 月)には 3 箇所の空洞において、空洞範囲が 0.1~0.2m 拡大し、上端深度も全箇所、0.1m 上昇した。なお、これら 7 箇所と後述の新規空洞は全て別の箇所であり、2 期連続で同一の空洞が拡大した例はなかった。

一方 117 箇所のうち、22%にあたる 26 箇所はモニタリング期間中に発生した新規空洞である(図-4)。このうち 23 箇所は南部地域に位置し、3 箇所は河川沿いで確認された。新規に発生した時期は第 0 期の 12 箇所に対し第 1 期は 14 箇所であり、季節的な観点での有意な差は認められなかった。こうした変遷により 2017 年



図-4 調査対象空洞数の変遷

10月現在、90箇所の空洞がモニタリング調査の対象となっている。また、過年度調査の202箇所に新規空洞の32箇所を加え、開削やスコープ調査で非空洞を確認した4箇所を除いた230箇所が、市内全域を対象とした空洞累積数となる。

(2)スコープ調査：地域や下水管敷設状況の視点で選定した8箇所において、2017年6月あるいは8月にスコープ調査を実施し、1箇所の非空洞(異物)を除く7箇所で空洞を確認した。このうち、スコープ調査後に補修された1箇所を除く6箇所で2018年1月に再調査を行ったが、いずれも顕著な変化は見られなかった。これら6箇所の空洞は下水管(有無、排除方式、敷設年代)、地下水位、表層地質の点で複数のパターンを有しており、次年度以降のスコープ調査において空洞厚やゆるみ層厚に変化が見られた場合、各因子と空洞との関連性を見出す糸口となることが期待される。

5. 開削調査で確認した特徴的な事例

新規・拡大箇所を中心とした5箇所(地点A~E)の空洞において、補修に伴う開削調査を行った。開削調査では空洞規模や地盤条件、発生原因を明らかにした。また、地点Eを除く4箇所においてブロックサンプリング法(押し切り式)により土質試料を採取・分析することで、空洞拡大現象の解明も進んでいる⁵⁾。

空洞発生の直接的な原因は、いずれの箇所も下水管による土砂の吸出しであった。地点A・B・Eは下水本管接続部の隙間に起因した空洞であり、このうち地点B・Eの空洞発生原因となった下水管は、地下水位以深に布設されていた(図-5)。当該管路は藤沢市下水道部の施設点検として管内カメラ調査が実施されており⁶⁾、空洞直下に位置する接続部にて浸入水が確認されていた。このことから、継続的に管内へ流入していた地下水によって地盤中の土粒子が流出し、空洞を形成したと考えられる。これに対し、地点C・Dの2箇所は他工事の際に誤って下水管が破壊され、破損部材を利用した粗雑な補修のみで埋め戻されたために空洞発生要因となったものであった(図-6)。一方、空洞の拡大性の観点では、地点Dの細長い空洞形状(L=3.2m, W=0.4m)が特徴的な事例であった。この形状は、近接する別管路の敷設に伴う掘削跡の埋戻材(砂)が流出し形成されたもので、開削時には粘性土(原地盤)が空洞の側壁として自立していた(図-7)。

これらの事例は下水道起因の空洞について、管渠の老朽化のみで語られるべきではないことを示唆している。人為的に生じた破損部は、管渠の老朽化により生じた隙間と比較して開口部が大きいうえ、粗雑な補修跡は劣化や剥離によって、突発的に開口してしまう。空洞の成長が乏しかった地点B・Eの発生原因が管渠の老朽化であるのに対し、地点C・Dが新規に発生したものでありながら緊急性の高い空洞となった背景には、こうした違いがあると推測できる。



図-5 地下水と下水本管接続部(地点B)



図-6 破壊された取付管(地点C)



図-7 空洞内部状況(地点D)

※原地盤の粘性土は自立、埋戻砂のみ流出し空洞化

6. 今後の展望

本研究では2年間のモニタリング調査を予定しており、本稿では1年目の中間報告を行った。これまでの調査では空洞の拡大や多数の新規発生が確認できた一方、長期的な視点からの拡大性や季節的要因との関係性を明らかにするには、更なるデータの蓄積が必要となる。このため次年度も、半年間隔での継続的なレーダ探査を行う。また、スコープ調査及び開削調査も引き続き実施することで空洞規模や地盤条件、発生原因の確認と記録を継続する。これにより、潜在性評価の更なる精度向上に繋げるとともに、様々な条件下での空洞発生メカニズムの仮説を検証していく。

- 1) 島山ら(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)
- 2) 瀬良ら(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4, 第53回地盤工学研究発表会(高松)
- 3) 平成28年度路面下空洞調査委託報告書, 藤沢市土木部, 平成29年1月
- 4) 小池ら(2017): 路面下に発生する空洞の発生状況の分析と考察, 土木学会第72回年次学術講演会(福岡)
- 5) 大原ら(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3, 第53回地盤工学研究発表会(高松)
- 6) 汚水管TVカメラ調査報告書, 藤沢市下水道部, 平成29年12月

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3

陥没 下水道管 模型実験

東京大学生産技術研究所 学生会員 ○大原 勇
 同上 国際会員 桑野 玲子
 同上 国際会員 瀬良 良子
 藤沢市道路河川部 正会員 嶋山 瑠美子
 ジョ・サーチ株式会社 陰山 一

1. はじめに

近年、地下の高度利用が進み地下構造物が輻輳する都市部において、下水道管をはじめとする地下インフラの老朽化や豪雨などの気候の激甚化に伴い地盤陥没のリスクが高まっており、道路の維持管理および人的被害軽減の観点から、地盤内空洞・ゆるみの生成・進展といった陥没の生成メカニズムの解明が求められている。一方で陥没発生時は早急な交通復旧という実務上の要請もあり、陥没現地の詳細な調査は殆ど蓄積がないのが現状である。

本共同研究では、発見されたいくつかの空洞について、開削による空洞の原因特定と試料のサンプリング、一部ではポータブルコーン貫入試験を行った。本稿では、現地の詳細な調査から明らかになってきた空洞の実情を整理し、サンプリング試料の土質試験と現地地盤を模擬した模型実験を踏まえた考察を行う。

2. 空洞現地調査の報告

岡村らが4地点で行った空洞調査(空洞A~D)¹⁾のうち、空洞Aについて説明する。幅850mm、長さ1250mm、厚さ630mmの比較的大きな形状で、開削を行った結果、



図1: 空洞A(左)と流出口(右)の様子

深さ約3mに布設された下水道管において継ぎ手部分のモルタルが劣化し隙間ができていたことが空洞の原因であると判明した。図1に空洞Aと空洞の原因となった流出口の写真、図2に空洞付近の断面図、図3にポータブルコーン貫入試験の結果を示す。流出口と空洞の間に約1mに及ぶゆるみ領域が確認された。また、僅かな隙間が原因であっても大きな空洞が発生しうる点は留意すべきであろう。また、空洞補修に際してここまで深い開削を行うのは稀であり、通常は浅部の空洞補修に留まり深部の原因特定には至らない。しかし表面的に空洞を埋め戻しても、原因そのものに対処しなければ空洞が再発する可能性がある。そうした意味でこの空洞は、原因となる土砂の流出口そのものを特定することの重要性を示唆する事例と言えるだろう。

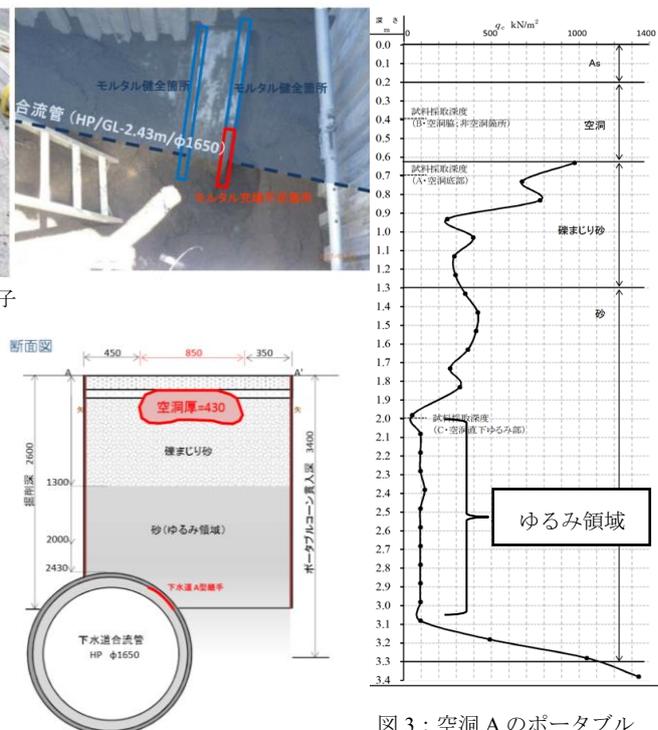


図2: 空洞A付近の断面図

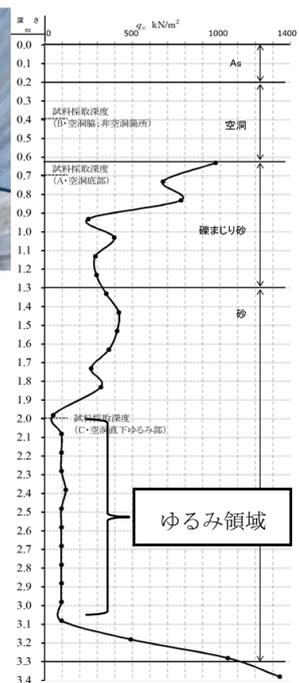


図3: 空洞Aのポータブルコーン貫入試験結果

3. 土質試験

表1および図5は、各空洞現場において「ゆるみ部(ポータブルコーン貫入試験の結果N値が相対的に低い部分)」「空洞脇」「空洞直下」の3地点の試料をカップラーによりサンプリングし、土質試験を行った結果である。含水比に着目すると、ほとんどの試料が5~10%程度であるのに対し、空洞Dの空洞脇試料のみが高い含水比を示した。また相対密度については、空洞直下のゆるみ部において全箇所相対的に低い値が確認され、おむね貫入試験の結果と整合していることが確認された。①は極めて小さ

空洞	採取箇所	含水比(%)	土粒子密度(g/cm ³)	相対密度
A	ゆるみ部	7.5	2.72	6.3
	空洞脇	6.3	2.66	96.2
	空洞直下	9.8	2.72	109.3
B	ゆるみ部	9.5	2.75	30.2
	空洞脇	5.6	2.76	91.0
	空洞直下	6.0	2.61	61.5
C	ゆるみ部	8.2	2.70	7.1
	空洞脇	4.7	2.71	①24.2
D	空洞直下	11.6	2.71	-0.1
	ゆるみ部	12.9	2.80	94.4
	空洞脇	77.0	2.67	63.0
	空洞直下	9.1	2.67	②94.6

表1: 空洞現場試料の土質試験結果

い相対密度を示しているが、この試料の土粒子は角の取れた川砂のような形状のため乱されやすく、サンプリング時に何らかの攪乱が起きた可能性がある。また②ではゆるみ部にも関わらず相対密度が大きいが、これは貫入試験でN値が大きい部分をサンプリングしたためである。

粒度分布を見ると、どの空洞現場においても空洞直下の粒度が最も大きくなっていることが分かる。これは、空洞の天井部が舗装の路盤部分に到達し碎石が落下した結果、空洞底部の粒度が大きくなったためであると考えられる。また、Dの空洞脇試料の細粒分含有率が突出していることが分かる。この空洞Dでは、砂質の埋戻し材に顕著な空洞が見られた一方で、空洞両脇の粘土質の地山は殆ど浸食されていなかった(図5)。したがって、突出した細粒分含有率が耐浸食性に寄与したと推測される。模型実験においても細粒分が多いと空洞の成長が遅くなることが分かっており²⁾、実験と同様の傾向が現場においても確認された形になる。またこの試料では著しい団粒化も見られ(図6)、これも粒子同士の固着力を高めて粒子の流出を防ぎ、結果として耐浸食性を高めたと考えられる。

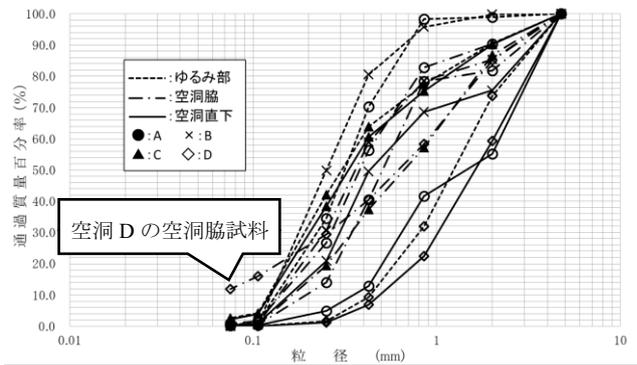


図4：空洞現場試料の粒度分布

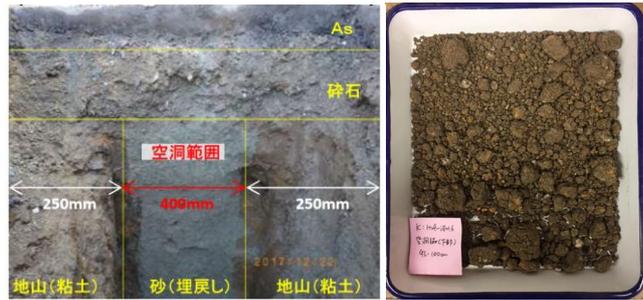


図5：空洞D付近の地盤



図6：空洞Dの空洞脇試料

4. 藤沢市地盤を再現した模型実験

空洞Aのゆるみ部と類似した粒度分布になるように5号珪砂と7号珪砂を6:4の質量比で配合して作成された砂($D_{50}=0.3\text{mm}$)を用いて、空洞が生成・成長し陥没に至る過程を模擬した模型実験を行った。土槽内に作成された模型地盤に底部から給水を行い、地下水位が安定したのちに底部のスリットを開放し、その後底部からの給水と排水を繰り返した結果、図7のような空洞の成長・陥没の発生が観察された。空洞Aと同様、流出口から離れた位置に空洞の形成が確認された。一方図8に示す3号珪砂($D_{50}=1.5\text{mm}$)を用いた模型実験では、スリット開放直後土砂が鉛直に流出した。これを図7のケースと比較すると、図7では比較的細粒分が多く含まれており、サクションやアーチ効果によって空洞上部の地盤が支えられていたと考えられる。

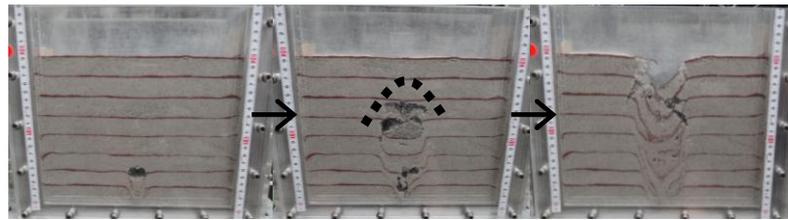


図7：5号珪砂：7号珪砂=6：4で配合した試料を用いた模型実験



図8：3号珪砂を用いた模型実験

5. まとめ

空洞の現地調査から以下のことを考察した。

- ・埋設管の損傷が僅かであっても比較的大きな空洞の原因になりうる。
- ・流出口が空洞よりもかなり深い位置にあるケースも存在している。再発を防止するためには、浅部の空洞補修に留まらず空洞の原因となる深部の流出口まで特定することが必要である。
- また、その後の土質試験と模型実験において以下のことを考察した。
- ・相対密度とポータブルコーン貫入試験の結果はおおむね整合している。
- ・空洞直下の試料は空洞天井部の崩落により路盤の碎石を含んでおり、比較的粒度が大きい傾向にある。
- ・空洞Dの浸食が見られなかった地山部分は細粒分含有率が突出しており、これは模型実験から得られたこれまでの知見を裏付けるものである。またこの試料では著しい団粒化も見られ、これも耐浸食性を高めていたと考えられる。
- ・空洞Aのゆるみ部に類似した地盤材料で模型実験を行い、現地と同様に流出口と離れた位置に空洞の形成を確認した。

6. 参考文献

- 1)岡村雅俊, 桑野玲子, 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, 第53回地盤工学研究発表会
- 2)桑野玲子, 堀井俊孝, 山内慶太, 小橋秀俊, 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, Vol 5, No. 2, 349-361

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4 - 藤沢市陥没ポテンシャルマップ開発に向けた分析 -

空洞 道路陥没 要因分析

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
同上 学生会員 大原 勇
藤沢市道路河川部 平田 良祐
ジオ・サーチ株式会社 米本 幸子

1. 陥没ポテンシャルマップ開発の目的 本研究は、藤沢市が予防保全として道路陥没対策を進めるために、地域に最適な道路陥没防止手法および体制を講じることが目的とした、藤沢市・東京大学・ジオ・サーチ株式会社の官学産共同の実践的な取り組みである。同市は、本研究以前に2ヵ年にわたり98路線・調査延長300kmの空洞調査を実施し、探査された202箇所の空洞は、陥没危険度の高いものから早期に補修対応・危険度の低い箇所については経過観察という補修方針をたて、積極的に道路陥没の未然防止に努めてきている¹。2ヵ年の一斉調査の結果から、同市における空洞は全国平均²に比べ発生頻度 [藤沢市：全国平均]=[0.7箇所/km：0.6箇所/km]、および危険度Aランク以上の割合 [藤沢市：全国平均]=[28%：18%]が高く、それらは布設から40～50年ほど経過した下水道が多く砂質土が広がる南部地区に集中しているという特徴が、数値的・地域的に把握された(図-1)。空洞は、発生要因や発生地点の条件で拡大の速さや危険度が異なるため、確実に陥没を予防していくためには地域特性の把握と高い危険度の空洞を見極める必要があるが、これまでは探査された空洞が早期に補修されてきたため、現地での発生状況などを掘り下げて調査し、空洞のメカニズムを究明する機会は少なく情報が限られていた。本研究は、同市の対策に資する実践的な知見を得るため、さらに一歩踏み込み「発生/潜在傾向の地域性」「拡大(顕在化)のしやすさ」についてのメカニズムの究明にむけて、経過観察対象空洞等を対象にモニタリングおよび開削調査³、開削現地で採取した試料の土質分析⁴や実験による空洞生成の再現を進めている。陥没ポテンシャルマップは、地域の空洞・陥没のポテンシャル/脆弱性を評価するもので、平時の安全な道路機能確保の一助になるほか、甚大な自然災害に備え適切な策を講じる重要な情報共有ツールともなる。本検討は、藤沢市の地域性を踏まえた因子の設定や寄与度について一連の取り組みからの知見を反映させ、地域を評価し開発するものである。

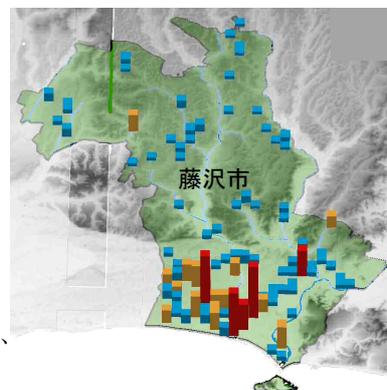


図-1 藤沢市空洞発生評価図 (3Dメッシュ評価、棒の高さが空洞数)

2. 空洞の発生要因の分類とポテンシャルの整理 空洞の形成に関する知見は表-1のようにまとめられる。空洞が得意やすい素質・要件(素因)が備わった環境で、土砂の流出経路が確保(誘因)されると空洞は発生する。陥没防止は「数・規模・拡大性」の3項の空洞諸元の評価を要す。本検討ではこれらの因子の数や寄与度の大きさをポテンシャルと定義する。

表-1 空洞要因とポテンシャルの整理 (※：今回藤沢市のポテンシャルを検討した項目)

空洞要因	素因 潜在性:できやすさ	誘因 土砂の流出経路など	拡大 顕在化しやすさ	地域評価適正
地下埋設物	数・輻輳※	埋戻し不良による沈下 近接工事で破損、管路工事の不良	-	○ 都市部
	老朽化※	管路の破損、継手の不良	破損からの土砂流出	
	補修履歴	補修箇所の劣化で破損		
	埋戻し材の流動性	-	埋戻し材の流動性	
大型地下構造物	水みちの発生	水みち経路の形成	内部侵食	○ 都市部
	構造物周辺のゆるみ	-	-	
	残置仮設物の劣化	立ち腐れ	-	
掘削履歴	埋戻し材の流動性	-	埋戻し材の流動性	-
護岸	老朽化	護岸破損・目地不良	潮汐	◎
地下水	地下水位の変動※	-	地下水位の変動	◎
地盤	土質、透水性※	-	粒度、透水性	◎
地形	カルスト地形など	-	-	◎
自然災害	-	豪雨	豪雨	○ 被災地
	(地盤)	地震・液状化	(地盤)	

3. ポテンシャル評価方法 藤沢市の陥没ポテンシャル因子および評価方法の検討にあたっては、市全域を250mメッシュで分割し、各メッシュにおける①空洞・陥没、②モニタリング調査結果、③表-1※4つの因子データ(下水道管の布設年代・排除形式、下水取付管の本数、地下水位データ(参考)、表層地質)を集約し、①②に対する③の出現度から各々

の相関と寄与度を分析した。図-2は、分析エリアのメッシュの分布であり、市の全域が対象であることが示される。③の因子のうち、地下水位は市から提供された2000点余ボーリングデータから内挿法で等高図化処理をして得たが、水位の季節変動等の考慮がないため相対的な高さを示す参考値として扱うものとした。図-3に③の一例として、南部地区に砂層が広がる地域性を示す表層地質図を示す。

4. 藤沢市における空洞因子の分析(素因・拡大)

(1) 素因-空洞のできやすさ[下水道管布設年代と形式、埋設管多さ] 藤沢市の下水道は歴史が古く、南部地区には布設後40~50年の合流管が集中し、空洞や陥没が多く発生しているという地域性があり、空洞補修時に下水施設の不良が確認された例がある³。これら知見を踏まえ、同市の下水道台帳データと空洞頻度との関係性をメッシュにて分析した結果、1960年代の合流管76メッシュのうち半数で空洞が出現、230の全空洞信号数のうち半数以上の121が同意メッシュにあり、40~50年経過した合流管エリアの空洞頻度が高いという結果を得た。また、埋設管の多さとして1メッシュあたりの取付管の本数を同様に整理したところ、図-3に示すように密-空洞頻度が高いという比例関係を得た。

(2) 拡大因子-拡大しやすさ[地下水位、表層地質] 桑野らの空洞生成を模擬した土槽実験⁵では、空洞が地盤内の水位変動により上方へ進展するメカニズムが報告されている。この知見から、参考値ではあるが地下水位と空洞頻度を分析し、図-5に示す比例関係を得た。また図-5左に示すように地下水位の分布に地域的な偏りはない。表層地質と空洞頻度の分析においては、砂層のメッシュ数が108、このうち空洞が出現したのは半数、空洞信号数は230のうち6割以上の147あった。砂層が1960-70年代合流管と同様に南部地区に位置しているため、同じような傾向になったと考察する。なお、上記分析について藤沢市域全体を対象とした陥没についても、4つの因子について同じ分析を行った結果、同様の傾向を示す結果を得た。

5. 複数条件のポテンシャル寄与度 例えば、透水しやすい地盤内で地下水位が変動するというような、素因が複数重なると空洞ができやすくなるという知見がある。本件で複数条件での空洞/陥没の出現率と単位面積あたりの箇所数を算出したところ、知見と同様の状況を数値で表された。図-6はその一例で、地下水位が高く砂層であるメッシュでは出現率も個数も高いことを示している。また、モニタリング調査で成長が確認されたメッシュは21あるが、擁する因子を組合せ空洞の出現率を整理したものが図-7であり、単独因子よりは複数の方が高い出現度であることが示された。これについては母数がまだ少ないため、今後も継続的に検討を進めていく予定である。

6. 今後の予定 今後は、検討を進め評価の重みづけを設定し、マップ化していく予定である。本件は、官学産の共同かつ実践的な一連の取組みをとおして、陥没のポテンシャルを面的に評価し地図で把握していく検討であるが、地域特性や脆弱箇所をあぶり出す作業ともなり、藤沢市が「安全で安心な暮らしを築く」ための、策を講じる重要なインプットを創る機会となっている。これまで問題解決にむけ実践的に取組めてきたことで、議論・判断に至った経緯自体から多くの学びがあった。本研究の成果となるマップは、今後陥没対策に携わろうとしている自治体にも非常に貴重な情報になるものであり、一連の取組みとあわせて発信に努めていきたい。

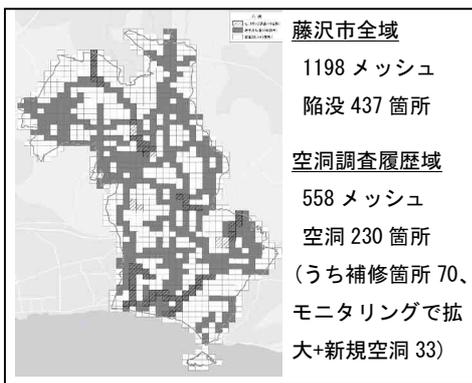


図-2 空洞調査履歴メッシュの分布

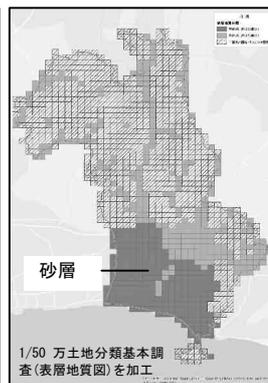


図-3 表層地質図

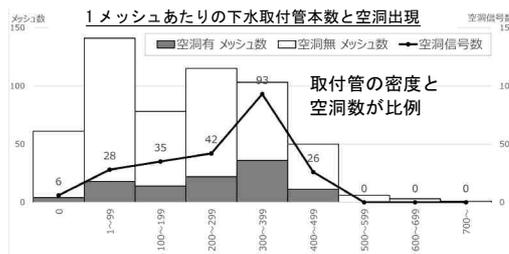


図-4 空洞頻度分析-埋設管の多さ

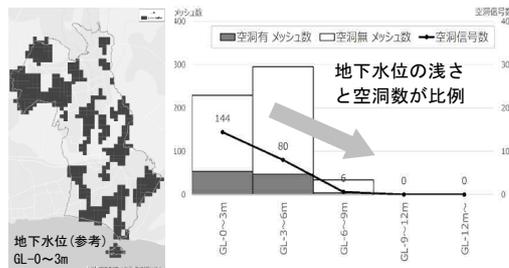


図-5 地下水位(参考)分布図と空洞頻度分析

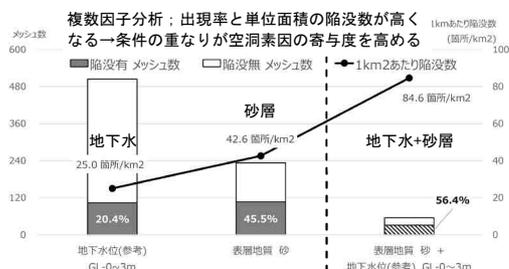


図-6 複数因子での陥没出現率と陥没数

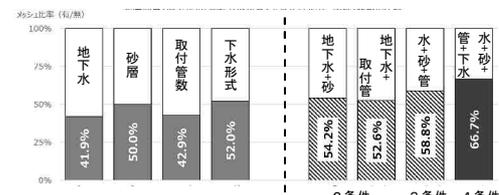


図-7 成長メッシュの因子の整理

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回盤工学会(高松)
² 小池ら(2017); 「路面下に発生する空洞の発生状況の分析と考察」土木学会第72回学術講演会(福岡)
³ 岡村ら(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2」第53回盤工学会(高松)
⁴ 大原ら(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3」第53回盤工学会(高松)
⁵ 桑野ら(2018); 「模型実験で観察された砂地盤内の空洞の発達過程と陥没メカニズムに関する考察」第53回盤工学会(高松)