

藤沢市の効率的な道路陥没防止手法の実践的研究 － モニタリング調査の結果と考察 －

ジオ・サーチ株式会社 正会員 ○藤井 邦男
同 上 阿部 匡彦、岡村 雅俊
藤沢市道路河川部 北村 和利、中村 栄一
同 上 畠山 留美子
東京大学生産技術研究所 フェロー会員 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。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、地盤条件や埋設管敷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、過年度に発見された経過観察空洞等を対象としたモニタリング調査の結果を考察する。

2. モニタリング調査の対象路線

藤沢市では管理道路 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、半年間隔で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。

(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敷設状況等を考慮した代表箇所を選定し、異常信号(空洞)の最浅点へ 50mm の調査孔を削孔のうえ、孔壁の柱状写真による舗装構成・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と考察

(1)異常信号(空洞)の発生数の推移：初回調査(平成 27、28 年度)、第 1 回および第 2 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(空洞)の箇所数を図-2 に示す。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 箇所の新規異常信号(空洞)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(空洞)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(空洞) 83 箇所の約 3 割(28%)に相当する 23 箇所の新規分が 1 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

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

キーワード 道路陥没 空洞 発生と拡大

連絡先 〒144-0051 東京都大田区西蒲田 7-37-10 ジオ・サーチ(株) 減災事業部 Tel:03-5710-0215

道の整備時期（昭和 26 年から着手、昭和 39 年の東京オリンピックを契機に整備が加速）との関連性が高いと考えられる。

(2)異常信号(空洞)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 回および第 2 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（空洞）の陥没危険度の割合を図-4 に示す。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 モニタリング一次調査時の「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 1 年間で「要緊急対応」が 3 箇所発生しており、迅速な開削補修が実施された。開削時の目視確認から、空洞の発生原因は下水道管継手部のモルタル充填不足(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(空洞)の拡大：モニタリング調査路線内では、現時点で 117 箇所の異常信号（空洞）が確認されている。この内 6%にあたる 7 箇所で、空洞の拡大が確認された(表-4)。7 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 3 箇所は第 1 回から第 2 回モニタリング調査で空洞範囲が 0.1～0.2m 拡大、深度も 3 箇所全て 0.1m 上昇した。なお、これら 7 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。No.5 の「要緊急対応」は迅速に開削補修が実施され、空洞直下に下水道管継手部が存在し、外観からは異常を目視できなかったが、別途の管内カメラ調査から浸入水が確認されていることや地下水位 (GL-1.45m)が下水道管(GL-1.64m)より上部であることから、浸入水に土砂の細粒分が含まれて流出したと推測される。拡大した異常信号（空洞）に近接する下水道管布設時期は 1960 年代が大半で、合流式・ヒューム管が共通事項であった。なお、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 2 回で顕著な変化は確認されなかった。

表-4 異常信号(空洞)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	下水道布設年	下水道分類	下水道管種
1	平成28年10月 (初回調査)	0.4	0.8	0.5	C	平成29年4月 (第1回モニタリング)	0.4	0.8	0.6	B	1969年	合流式	ヒューム管
2		0.3	2.3	0.5	A		0.3	2.3	0.8	A	1974年		
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	0.6	A	1968年		
7		0.7	0.5	0.4	C		0.6	0.6	0.5	C	1968年		

5. 今後の予定

本研究は、2 ヶ年の研究期間が設定されており、本稿では 1 年目の中間報告を行った。次年度も半年間隔でのモニタリング調査を継続し、空洞発生 of 地域特性や拡大メカニズム究明へのデータ蓄積と分析を進める。
参考文献 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)

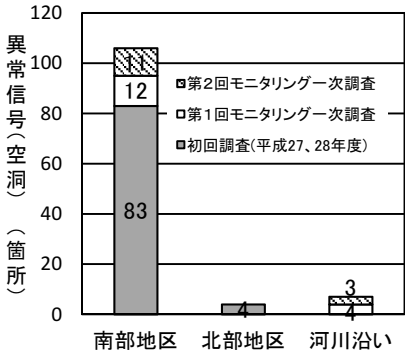


図-2 異常信号(空洞)の箇所数

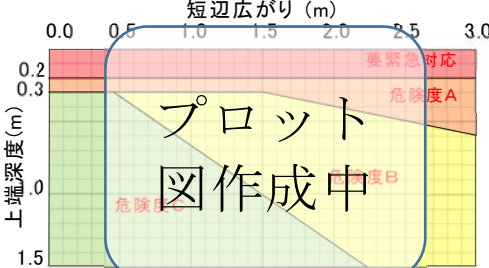


図-3 陥没危険度評価

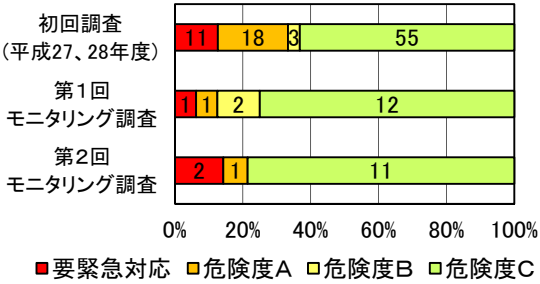


図-4 異常信号(空洞)の陥没危険度の割合

藤沢市の効率的な道路陥没防止手法の実践的研究

- 陥没ポテンシャルマップ開発に向けた空洞素因の地域分析 -

東京大学生産技術研究所 正会員 ○瀬良 良子
同 上 フェロー会員 桑野 玲子
藤沢市道路河川部 平田 良祐、山本 陽子
藤沢市下水道部 張ヶ谷昌彦
ジオ・サーチ株式会社 三木 偉信、米本 幸子

1. 本共同研究の概要 本研究は、藤沢市が道路陥没対策を予防保全として進めるために、最適な手法と体制を藤沢市・東京大学生産技術研究所・ジオ・サーチ株式会社の官学産共同で講じる実践的な取組みである。同市は本研究開始前から積極的に道路陥没の未然防止に努めてきており、調査前の2ヵ年で幹線道路を対象に98路線・調査延長300kmの空洞調査を実施し、探査された202箇所の空洞に対して陥没危険度を評価し、高危険度空洞は即時補修/低空洞は経過観察という対応を遂行している。同市の空洞調査では、地中に潜在する空洞箇所や規模の他、同市空洞の発生頻度および危険度AおよびCランク以上の割合が全国平均に比べ高いという実態¹と、探査された空洞の多くが布設から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、数値的・地域的な特徴が把握された(図-1²)。一方で、同地区については空洞調査対象外の生活道路において陥没が多く発生する実態も把握されていた。このような背景のもと、最適な陥没対策手法の検討として、経過観察下の空洞のモニタリング調査や資料調査、開削調査および試料サンプリング調査、土槽実験での再現などを行いながら空洞のメカニズムを究明し、空洞が拡大・顕在化する可能性や時期、空洞が多発した路線の今後の傾向予測をたてながら、市全域の空洞生成要因の地域性の評価を行っている(藤井ら³、大原ら⁴)。

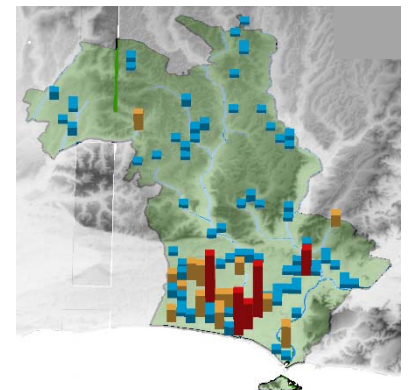


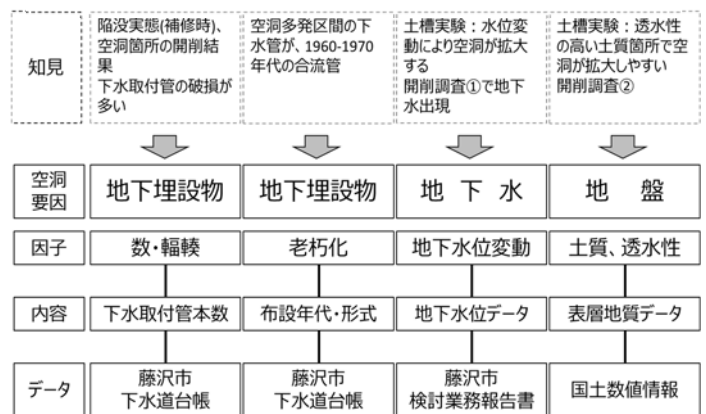
図-1 藤沢市空洞発生評価図²
(3Dメッシュ評価、棒の高さが空洞数)

2. 空洞の発生要因の分類とポテンシャルの整理 確実に陥没を予防するために、探査された空洞については補修判断と原因箇所の確実な手当て、特に経過観察中の空洞については、発生要因や発生地点の環境による拡大速さの相違、つまり地域特性の把握と高い危険度の見極めが必要となる。陥没ポテンシャルマップは、空洞・陥没のポテンシャル/脆弱性の評価の地域性を表すもので、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

表-1 空洞要因とポテンシャルの整理²
(※は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・幅・種類※	埋戻し不良による沈下	-	○ 都市部
	老朽化※	近接工事で破損、管路工事の不良	破損からの土砂流出	
	補修履歴	管路の破損、継手の不良	-	
	埋戻し材の流動性	補修箇所の劣化で破損	-	
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	立ち崩れ	-	
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)	

表-2 藤沢市における陥没ポテンシャル因子の整理



キーワード 道路陥没 予防 地域特性 評価

連絡先 〒153-0041 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所桑野研究室 Tel:03-5452-6845

性を踏まえた因子の設定や寄与度について一連の取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。空洞は、しやすい素質・要件（素因）が備わった環境で、土砂の流出経路が確保（誘因）されると発生する。これまでの研究等から得られてきた、空洞の形成に関する要因（素因・誘因）の知見は瀬良ら²により表-1のようにまとめられた。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るが、それら諸元に関与する因子の数や寄与度の大きさをポテンシャルと定義した。

3. 藤沢市における陥没ポテンシャル因子と使用データ 表-1に整理した因子のうち、本研究で一連の取組みで得られてきた藤沢市道での空洞および陥没要因に関する知見を、表-2に示す「地下埋設物の多さ」「地下埋設物の老朽化」「地下水位の変動」「土質、透水性」の4項に設定した。それぞれの知見に対するデータを位置情報とともに整理し、空洞・陥没箇所と空洞モニタリング調査結果に対して各因子の出現度を分析し、相関と寄与度について検討した。なお、地下水位については、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。なお、評価は市全域を250m正方で分割したメッシュで行った。

4. 空洞因子の分析：下水道管布設年代と形式 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ており、空洞や陥没が多く発生し、空洞補修時に下水施設の不良が確認された例がある³。同市の下水道台帳データと空洞/陥没頻度との関係性を地理的にメッシュ分析した結果、表-3に示す出現率（評価全体のうち空洞が出現した割合）

表-3 陥没および空洞頻度と下水道管布設年代と形式

下水道 布設年代・形式	陥没；藤沢市域全体			空洞；調査エリア（H27・H28・モニタリング）		
	評価メッシュ数	出現率	1km2あたり 陥没数	評価メッシュ数	出現率	1km2あたり 空洞数
合流式	1950年代	1	0.0%	-	0	0.0%
	1960年代	140	65.7%	45.7	76	50.0%
	1970年代	73	37.0%	30.2	37	37.8%
	1980年代	25	36.0%	37.3	16	37.5%
	1990年代	1	0.0%	-	1	0.0%
分流式	2000年以降	5	20.0%	16.0	4	25.0%
	1950年代	0	0.0%	-	0	0.0%
	1960年代	17	11.8%	16.0	5	20.0%
	1970年代	108	11.1%	22.7	53	1.9%
	1980年代	157	12.7%	18.4	85	12.9%
年代不明	1990年代	331	11.2%	20.3	178	12.9%
	2000年以降	113	8.8%	17.6	53	13.2%
	合計	9	11.1%	16.0	3	0.0%
対象外	218	0.0%	-	47	6.4%	21.3
合計	1,198	17.6%	33.1箇所/km	558	18.8%	35.0箇所/km

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（拡大しやすく）なるという知見がある。設定した4つの因子について、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、50～80%ほどの高い出現率と1.4～2倍ほどの多い箇所数となった²。図-2は、藤沢市域の陥没ポテンシャル評価の検討図であり、因子の地域分布；左が各メッシュの因子総数ランク、右が下水形式と年代を示している。本検討図により、複数の因子を擁するメッシュの分布と、空洞調査で探査された多数連続空洞があった路線の位置等との合致があり、実態との整合性があると判断された。今後も引き続き、現地の状況を工学的に把握し、実践的な策の構築に向けて分析を進める。

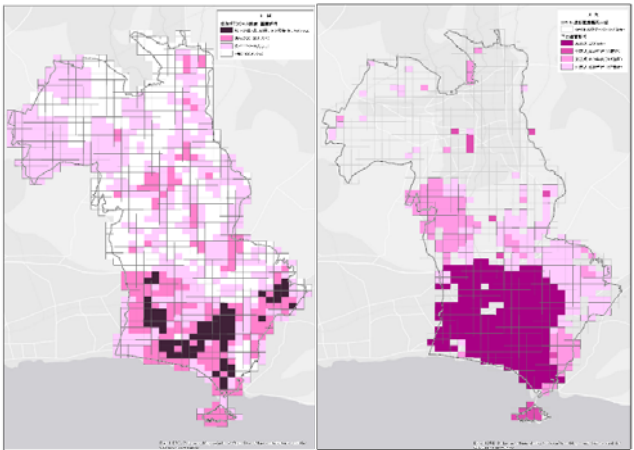


図-2 藤沢市陥没ポテンシャル評価検討図
(左・下水道以外因子数総数ランク、右・下水道形式・年代)

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回地盤工学研究会(高松)
³ 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 -モニタリング調査の結果と考察-」土木学会第73回年次学術講演会
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回地盤工学研究会(高松)