

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
藤沢市下水道部 張ヶ谷昌彦
ジオ・サーチ株式会社 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、研究前の2ヵ年で主要な道路を対象に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、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。空洞調査結果から、空洞箇所や規模の他、同市空洞の危険度A以上およびCランクの割合が全国平均に比べ高いという実態¹と、砂質土が広がり布設から40～50年ほど経過した下水道が多い南部地区に、探査された空洞の多くが集中しているという、発生頻度の数値的・地域的な特徴が把握されていた(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、本共同研究では経過観察中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、空洞が拡大・顕在化する可能性や条件などの空洞のメカニズムを究明し、空洞が多発した路線の今後の傾向を考慮した、市全域の空洞生成要因の地域性の評価方法も検討している(藤井ら³、大原ら⁴)。

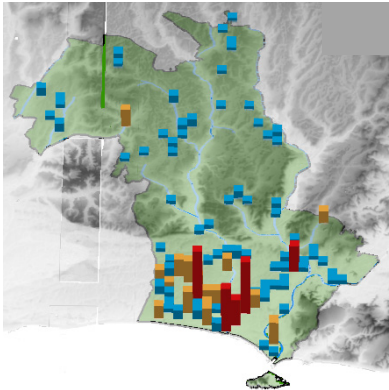


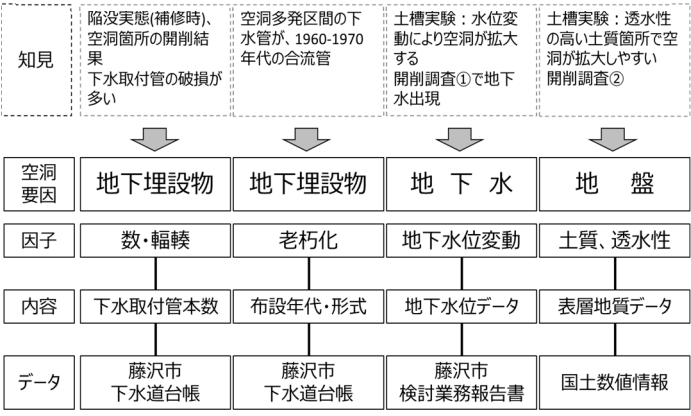
図-1 藤沢市空洞発生評価図²
(3Dメッシュ評価、棒の高さが空洞数)

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には、探査された空洞の補修判断と原因箇所の確実な手当て、経過観察中の空洞の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。今回は、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

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	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)	

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

て、一連の取組みからの知見を反映させた内容で地域評価し、開発を目指している。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、藤沢市の地域性や特徴を現す空洞および陥没要因に関する知見を、「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（表-2）。それぞれの知見に対するデータを集め、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する各因子の出現度を分析して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データだったため、相対的な高さを示す参考値として扱うものとした。また、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、空洞補修時に劣化による下水道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（全体のうち空洞が出現したエリアの割合）が得られた。合流式のエリアでは、空洞・陥没ともに全体的に1/3以上の出現率となり、「形式」の寄与度が高いことがわかった。分流管の出現率は年代による大きな差は見られないものの、1960～1980年代の1km²あたりの空洞数が多く、当該エリア内に多数の空洞が集中していたことが示され、「年代」の寄与度が高いことがわかった。

表-3 陥没および空洞頻度と下水道管布設形式と年代

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	1km ² あたり 陥没数	評価メッシュ数	出現率	1km ² 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%
	2000年以降	5	20.0%	16.0	4	25.0%
分流式	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%
	1990年代	331	11.2%	20.3	178	12.9%
	2000年以降	113	8.8%	17.6	53	13.2%
年代不明	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

上の出現率となり、「形式」の寄与度が高いことがわかった。分流管の出現率は年代による大きな差は見られないものの、1960～1980年代の1km²あたりの空洞数が多く、当該エリア内に多数の空洞が集中していたことが示され、「年代」の寄与度が高いことがわかった。4因子について同手法で分析し、藤沢市域では「下水道の形式・年代」「地下埋設物の多さ」「地下水位の浅さ」「土質の透水性」を空洞・陥没の因子として検討を進めることとした。

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（拡大しやすく）なるという知見がある。本件等でも、設定した4つの因子が複数になるエリアでは、空洞・陥没の出現率は50～80%と高く、単位面積あたりの箇所数は単条件よりも1.4～2倍と多い結果となった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、因子の地域分布を示すものである。左の因子数の多さを表す評価図が示す複数因子を擁するメッシュの分布と、空洞調査で多数連続空洞が探査された路線位置が合致するなど、実態との整合性があることが確認された。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および検討を進める予定である。

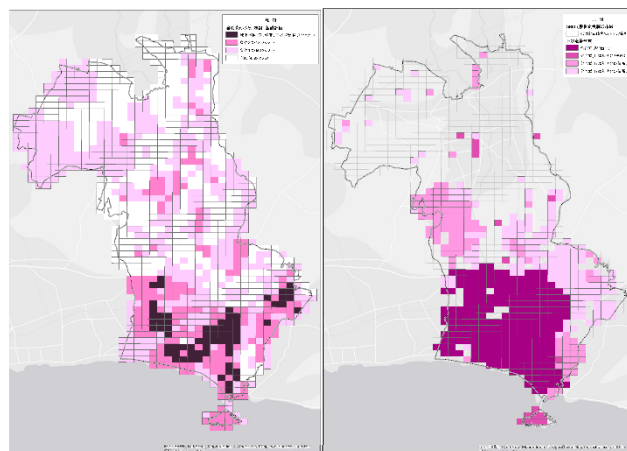


図-2 藤沢市陥没ポテンシャル評価検討図
(左・下水道以外因子数総数ランク、右・下水道形式・年代)

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)「藤沢市における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)