

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<sup>1</sup>。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<sup>2</sup>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<sup>3</sup>、開削現地で採取した試料の土質分析<sup>4</sup>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。

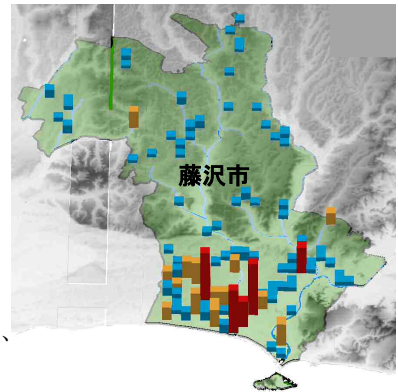


図-1 藤沢市空洞発生評価図 (3Dメッシュ評価、棒の高さが空洞数)

**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	<b>数・輻輳*</b>	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
	<b>老朽化*</b>	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	<b>地下水位の変動*</b>	-	地下水位の変動	◎
地盤	<b>土質、透水性*</b>	-	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<sup>3</sup>。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<sup>5</sup>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。

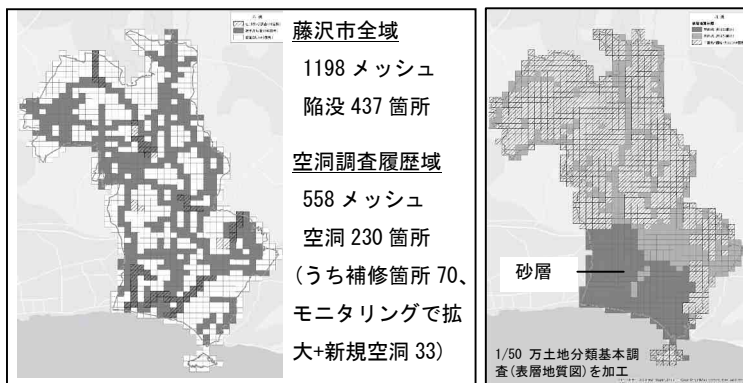


図-2 空洞調査履歴メッシュの分布

図-3 表層地質図

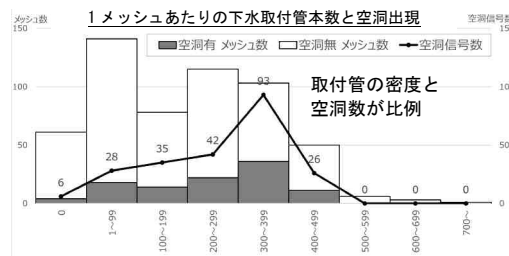


図-4 空洞頻度分析-埋設管の多さ

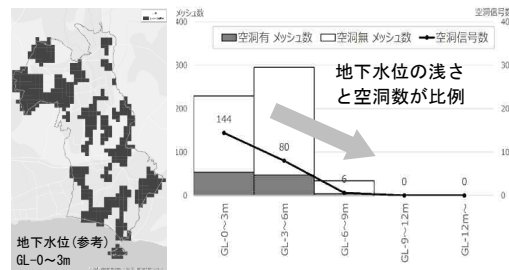


図-5 地下水位(参考)分布図と空洞頻度分析

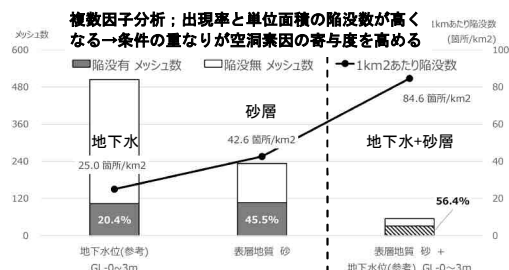


図-6 複数因子での陥没出現率と陥没数

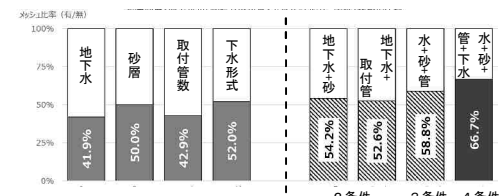


図-7 成長メッシュの因子の整理

<sup>1</sup> 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)  
<sup>2</sup> 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)  
<sup>3</sup> 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)  
<sup>4</sup> 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)  
<sup>5</sup> 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)