

藤沢市道の陥没予防効果向上の取組み（産官学共同研究） －空洞ポテンシャルマップの活用報告－

空洞 地域評価 維持管理

藤沢市道路河川部 正会員 ○東福 耕平
 同上 佐藤 繁 林 達
 藤沢市下水道部 鈴木 豪 坂井 洋介
 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 国際会員 瀬良 良子
 同上 正会員 清水 美波

1. はじめに

藤沢市は、東京都心部から 50km 離れた神奈川県中央南部に位置し、周囲には 6 市 1 町が隣接している（図-1）。市域面積は約 69.56km²であり、令和 7 年 3 月時点での人口は約 44 万 3 千人となっており、湘南地域の中核的な都市として発展を続けている。本市内の道路や下水道等の都市基盤は、昭和 30 年代から 40 年代の高度経済成長期にかけて、土地区画整理事業や街路・道路事業等により、集中的に整備してきた。これら都市基盤の老朽化が顕在化しており、道路陥没の発生件数が増加傾向にあったことから、「藤沢市道路舗装修繕計画」に道路陥没対策を位置付け、平成 27 年度に路面下空洞調査を開始した。また、平成 27、28 年度の調査で 202 箇所もの異常信号が確認されたことから、当時の調査業務の受注者である「ジオ・サーチ株式会社」、路面下空洞に関する先進的な研究機関である「東京大学生産技術研究所」、「藤沢市」の 3 者共同研究体制を構築し、平成 29～30 年度の 2 ヶ年にわたり、「陥没や空洞の発生と拡大のメカニズムを可視化する手法づくり」、「路線ごとの最適な調査サイクルの設定」及び財政面に配慮した「道路陥没防止対策を進めていくための仕組み・体制づくり」に取り組んだ（共同研究名「藤沢市における効率的な道路陥没防止手法」）。同研究において、空洞モニタリング調査および空洞原因調査をベースに、試作版・藤沢市道路陥没ポテンシャルマップ（現、試作版・空洞ポテンシャルマップ）を開発し、本市の道路陥没対策に活用した（西山ら¹）。

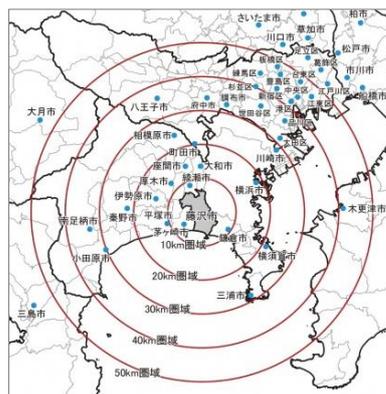
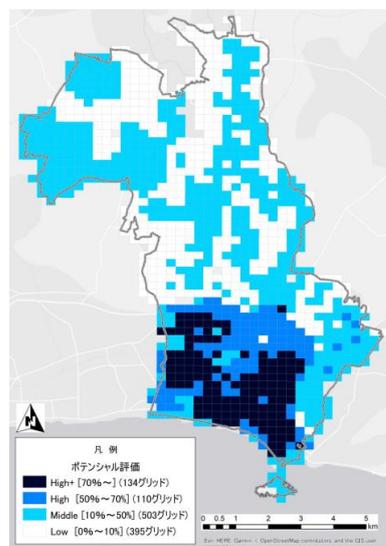


図-1 藤沢市位置図

2. 試作版・藤沢市空洞ポテンシャルマップの活用

(1) 試作版・藤沢市空洞ポテンシャルマップについて ポテンシャルとは、潜在性・可能性・将来の発展性を意味する言葉であり、同マップは、評価エリア内の空洞の発生しやすさを示す地図である。空洞は発生しやすい素質（素因）が備わった環境で土砂の流出経路が確保（誘因）されると形成される（瀬良ら²）。同研究で開発した試作版・藤沢市空洞ポテンシャルマップを図-2 に示す。同研究により、本市の主な陥没因子を、[下水道管老朽化]・[下水取付管]・[地下水位変動]・[地山/埋戻材の流動性]の 4 因子に定め、それら 4 因子と空洞・陥没情報を重ねて分析することにより閾値を設定した。さらに原因追及調査で明らかになった空洞発生実態（砂質地盤で地下水位が高く、下水道管の老朽化がみられる）を基に、陥没因子の組合せ（図-2）を決定し、ポテンシャルを[High+]・[High]・[Middle]・[Low]の 4 段階に設定した。また、直感的に把握しやすくするため、本市域を 1 辺 250m の 1/4 メッシュで分割し、1198 メッシュで構成することとした。各メッシュの素因や陥没因子の組合せを属性にして GIS で分析し、空洞ポテンシャルを可視化した図-2 の同マップを開発した（瀬良ら³）。



ポテンシャル値	陥没因子の組合せ
High+ (潜在確率 70% -)	
High (潜在確率 50-70%)	
Middle (潜在確率 10-50%)	
Low (潜在確率 0-10%)	なし

図-2 試作版・藤沢市空洞ポテンシャルマップとポテンシャル因子²

Efforts to improve the effectiveness of preventing street cave-ins in Fujisawa City Report on the effective use of the cavity potential map

K. Tofuku, S. Sato and T. Hayashi (Road and River Department, Fujisawa City), G. Suzuki and Y. Sakai (Sewage Department, Fujisawa City), R. Sera and M. Shimizu (GEO SEARCH Co.,LTD.) and R. Kuwano (Institute of Industrial Science, the UNIV. Of Tokyo)

ていた。同研究後の令和元年度からは試作版・藤沢市空洞ポテンシャルマップを活用し、路線ごとの特性や重要性を考慮したうえで調査計画を定め、高ポテンシャルエリアに該当する約 250 kmの生活道路を調査対象に加えた。図-3 に同マップ活用前後の主な年度の調査区間を、試作版のポテンシャル評価に重ねて示す。

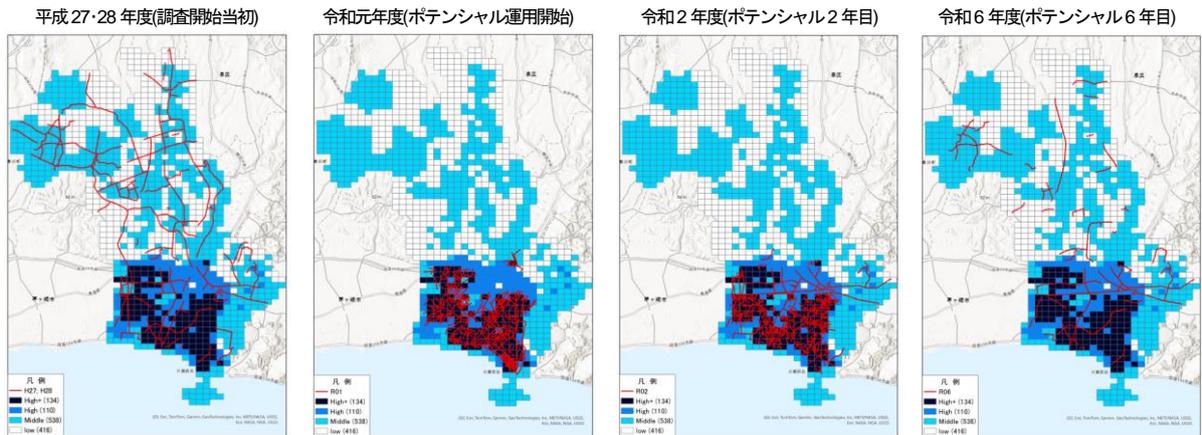


図-3 藤沢市 主な路面下空洞調査区間とポテンシャル評価図（平成 27・28・令和元・2・6 年度）

(3) ポテンシャルマップ活用の効果 図-4 は本市の路面下空洞調査延長と陥没および補修空洞数の推移である。同マップ運用前後（平成 27、28 年度と令和元、6 年度）の調査延長に大きな差が見られない反面、陥没件数の大幅な減少があったことが示されている。これは上記に示したとおり「高ポテンシャルエリアを集中的に対策した」効果といえる。実際に、平成 27 年度に 123 件あった道路陥没件数は令和 5 年度に 28 件まで減少している。また、「藤沢市下水道ストックマネジメント実施方針」において、管内調査の優先度を定める評価項目に「ポテンシャルの高いエリア」を加えるなど、下水道部局においても同マップを活用し、空洞及び陥没原因の早期発見に努めている。

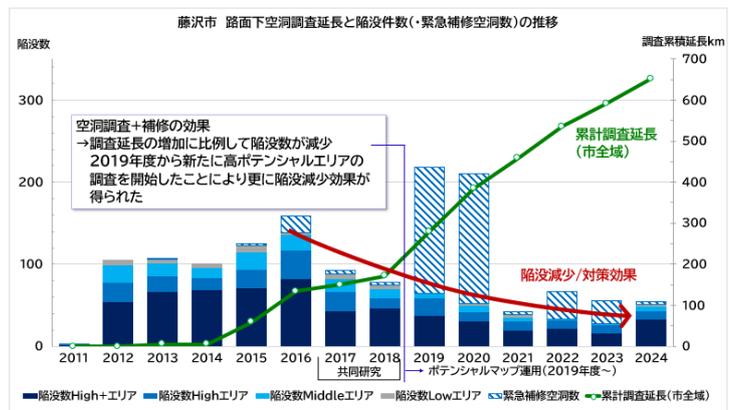


図-4 藤沢市 路面下空洞調査延長と陥没件数および補修空洞数の推移

3.今後の展望

(1) 継続的な情報の蓄積と活用によるポテンシャル評価の向上 これまでの道路陥没、路面下空洞調査結果及び修繕状況等の情報を、市内の GIS に入力して蓄積してきたことで、本市における道路陥没及び路面下空洞の発生傾向や空洞の成長状況等を把握し、「ポテンシャルマップの高度化」の共同研究（瀬良ら¹）を円滑に進めることができた。さらに、同 GIS の情報は各部署にも共有していることから、工事等の範囲内に空洞がある際は、工事の施工と合わせて空洞への対策を実施するなど、道路陥没対策の効率化に努めている。今後も情報の蓄積を継続することで、本市における道路陥没対策と同マップのさらなる発展に努めていく。

(2) 路面下空洞調査サイクルの再検討 これまで、本市における路面下空洞調査は、選定した路線を対象に 5 年に 1 度の調査サイクルで実施してきた。令和 4 年度時点で主要道路は 2 巡目、令和 5 年度時点で高ポテンシャルエリアの生活道路等は 1 巡目の調査が完了しており、令和 6 年度からは主要道路 3 巡目の調査に着手している。主要道路については、複数回の調査により、各路線の空洞の有無や成長及び増加状況が把握できていることから、空洞の検出傾向を踏まえた調査サイクルの検討を進めることで、さらなる効率化を図りたい。

(3) まとめ 今後も「藤沢市空洞ポテンシャルマップ」を活用し、より効率的かつ効果的な道路陥没対策を目指す。高度化された同マップについては、ホームページへの掲載等により見える化を図り、道路利用者の維持管理に対する理解や、防災意識の向上につなげたい。さらに、これまでの取り組みで得られた知見や技術は、他自治体での活用も期待されることから、今後は同マップの活用事例を積極的に発信し、全国的な道路陥没防止にも貢献したい。また、令和 7 年度からは組織改正により道路部局と下水道部局が統合されることから、さらに連携を深め、「道路ストックマネジメント」及び「下水道ストックマネジメント」の取り組みを推進することで、効率的に道路、下水道等の強靱化を図り、市民の「安全で安心な暮らしを築く」ことに努めていく。

¹ 西山ら(2019)「藤沢市における効率的な道路陥没手法の研究」(官学産 共同研究)第 74 回土木学会全国大会(高松)
² 瀬良ら(2025)「藤沢市道の陥没予防効果向上の取組み(産官学共同研究)-空洞ポテンシャル評価の高度化-」第 60 回地盤工学研究発表会(下関)
³ 瀬良ら(2019)「藤沢市・道路陥没ポテンシャルマップの開発(官学産 共同研究)」第 74 回土木学会全国大会(高松)

藤沢市道の陥没予防効果向上の取組み(産官学共同研究)

- 空洞ポテンシャル評価の高度化 -

空洞 地域評価 維持管理

ジオ・サーチ株式会社 国際会員 ○瀬良 良子
同 上 正会員 清水 美波 木村 裕佳子
藤沢市道路河川部 正会員 東福 耕平 林 達
藤沢市下水道部 鈴木 豪 渡邊 音文
東京大学生産技術研究所 国際会員 桑野 玲子

1. 空洞ポテンシャルマップ高度化の目的 藤沢市・東京大学・ジオ・サーチ株式会社の産官学共同研究体は、2017年度から2年をかけて「藤沢市における効率的な道路陥没防止手法」を検討した。空洞のモニタリング調査によって得られた、砂質地盤における空洞形成メカニズムや、下水道管の継ぎ目などのわずかな隙間からの土砂流出により形成される空洞(瀬良ら¹⁾)の知見は、試作版の藤沢市道路陥没ポテンシャルマップに反映された(瀬良ら²⁾)。これに基づき市は陥没対策の方針を策定し、2019年度以降は本マップを空洞調査計画に活用している。運用開始後は、高ポテンシャル地域を中心に空洞調査が実施され、さらに市が継続してきた要緊急空洞の補修により、陥没発生件数は増加傾向から減少傾向へと転換、著しい削減が確認された(東福ら³⁾)。今回、豊富な調査データを基に、ポテンシャル評価の高度化を検討するとともに、試作版の評価妥当性の検証(瀬良ら⁴⁾)、および評価対象データ(下水道、空洞調査、陥没)の更新と評価方法の見直しを実施した。本稿では、評価データの更新検討とそのアウトプットについて報告する。

2. 空洞ポテンシャルマップの定義 「空洞ポテンシャルマップ」とは、評価エリア内における空洞発生のしやすさ、すなわち地域特性を示す地図である。空洞は、発生しやすい素因が備わった環境において、土砂の流出経路(誘因)が確保され発生する。たとえば、流動しやすい地盤に水の動きが加わり、地中管路に損傷が生じると、空洞が生成され経時的に拡大する(参考:図-1)。ここでいう空洞ポテンシャル(=潜在性、可能性、将来の発展性)は、地域に潜在する空洞の素因や、図-1に示すようないくつかの素因の組み合わせがある。空洞や陥没の情報が存在しない場合は素因の分布そのものが評価対象となるが、空洞や陥没情報がある場合は、発生事例と素因との感度分析を行い、ランク付けによるポテンシャル評価を設定する。評価を簡便化し、市域全体の把握を容易にするため、全域をメッシュに分割し、メッシュごとに素因や因子の組み合わせを属性として分析する。なお、藤沢市では1辺250mの1/4メッシュを全1198メッシュにより市域を分割している。また、陥没予防策としては陥没ポテンシャルを評価することが望ましいが、老朽化など経年的要素を含む空洞の素因に比べ、陥没の発生は大規模地震、豪雨、地下構造物の工事など突発的な要因が多いため、同様の評価が必ずしも適用

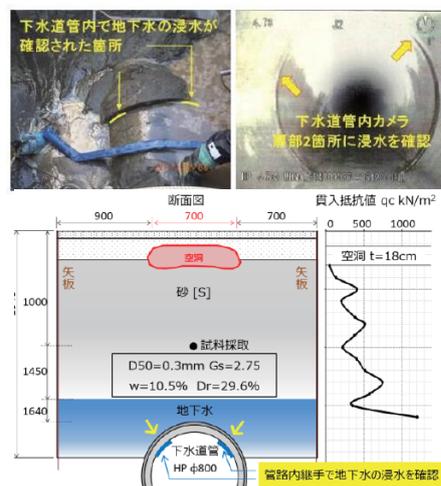


図-1 空洞開削および下水道管内カメラ写真、空洞発生状況断面図とポータブルコーンによる貫入抵抗値(瀬良ら¹⁾)

できない。空洞の素因環境とその後の拡大しやすい環境は一部共通するが必ずしも一致せず、調査結果からも全ての空洞が一律に拡大して陥没に至るわけではなく、事例ごとに異なることが示されている。広義には同一視されることもあるが、環境、挙動、出現頻度の違いから、空洞と陥没のポテンシャルは別個に定義するものとする。この整理に伴い、「藤沢市道路陥没ポテンシャルマップ」は「藤沢市空洞ポテンシャルマップ」と改称する。

3. 新・ポテンシャル評価の検討 (1) インプットデータの更新 本検討では、試作版開発時に用いたデータのうち、オープンデータである表層地質(国土数値情報)および地下水位を除く全データを最新のものに更新した。具体的には、基盤となる道路台帳GIS(認定道路の増加を反映)や下水道台帳GIS(管渠等の更新)のほか、陥没情報が857件から1,011件、空洞調査データ(調査区間および空洞の可能性を示す異常信号を「空洞」と称す)が更新・充実された。これにより、空洞情報は従来の272箇所から10倍以上の2,759箇所に増加し、市域の調査エリアカバー率も558/1198から752/1198へ向上した。同一区間については、最大で5年間にわたる繰り返し調査が行われた。また、空洞の成長性を把握する目的で、空洞名称の区分・定義(清水ら⁵⁾)を行い、経年的な空洞の挙動も数値的に把握できるようとした。

Efforts to improve the effectiveness of preventing street cave-ins in Fujisawa City
- Improving the Accuracy of Cavity Potential Assessments -

R. Sera, M. Shimizu and Y. Kimura (GEO SEARCH Co.,LTD.), T. Hayashi, K. Tofuku (Road and River Department, Fujisawa City), G. Suzuki (Sewage Department, Fujisawa City) and R. Kuwano (Institute of Industrial Science, the UNIV. Of Tokyo)

(2) 閾値の設定(ポテンシャル因子) 陥没件数の増加(150件)、10倍以上になった空洞データ、新しい下水道データを基に、試作版で設定していた個別ポテンシャル因子の再評価を実施した。その結果、全項目において出現率が向上しており、つまり予測精度が高いことが確認された。さらに、これらのデータを基にポテンシャルの閾値設定について再分析を行い、試作版よりも予測精度が向上する区分で、簡素化した閾値を採用することとした(表-1、図-2)。

表-1 藤沢市空洞ポテンシャル評価 因子閾値と出現率(試作版・データ更新・閾値見直し)

フェーズ	因子	下水取付管本数		下水道排除形式・年代		表層地質		地下水位(参考値)	
試作版	閾値①	300-399本/1メッシュ		合流式・1960-1980年代		砂質系(砂,砂岩・泥岩互層,砂岩・泥岩・凝灰岩互層)		(参考値) GL-0~3m	
	出現率	48.0%	35.0%	57.1%	48.1%	49.8%	44.4%	22.0%	23.6%
データ更新	出現率	58.2%	65.1%	77.1%	87.6%	55.6%	77.1%	29.4%	45.6%
閾値見直し	閾値②	300以上/1メッシュ[変更]		合流式・全年代[変更]		砂[変更]		(参考値) GL-0~3m	
	出現率	53.0%	59.5%	75.3%	87.2%	63.9%	82.4%	29.4%	45.6%

4. 新・藤沢市空洞ポテンシャルマップ 整理されたポテンシャル因子(閾値)同士を組み合わせ、空洞および陥没の出現率の高さを指標として区分を設定した。図2には、試作版と本検討版のポテンシャルマップ、因子の組み合わせ、ポテンシャル値、メッシュ数、および推定空洞数の結果が示されている。

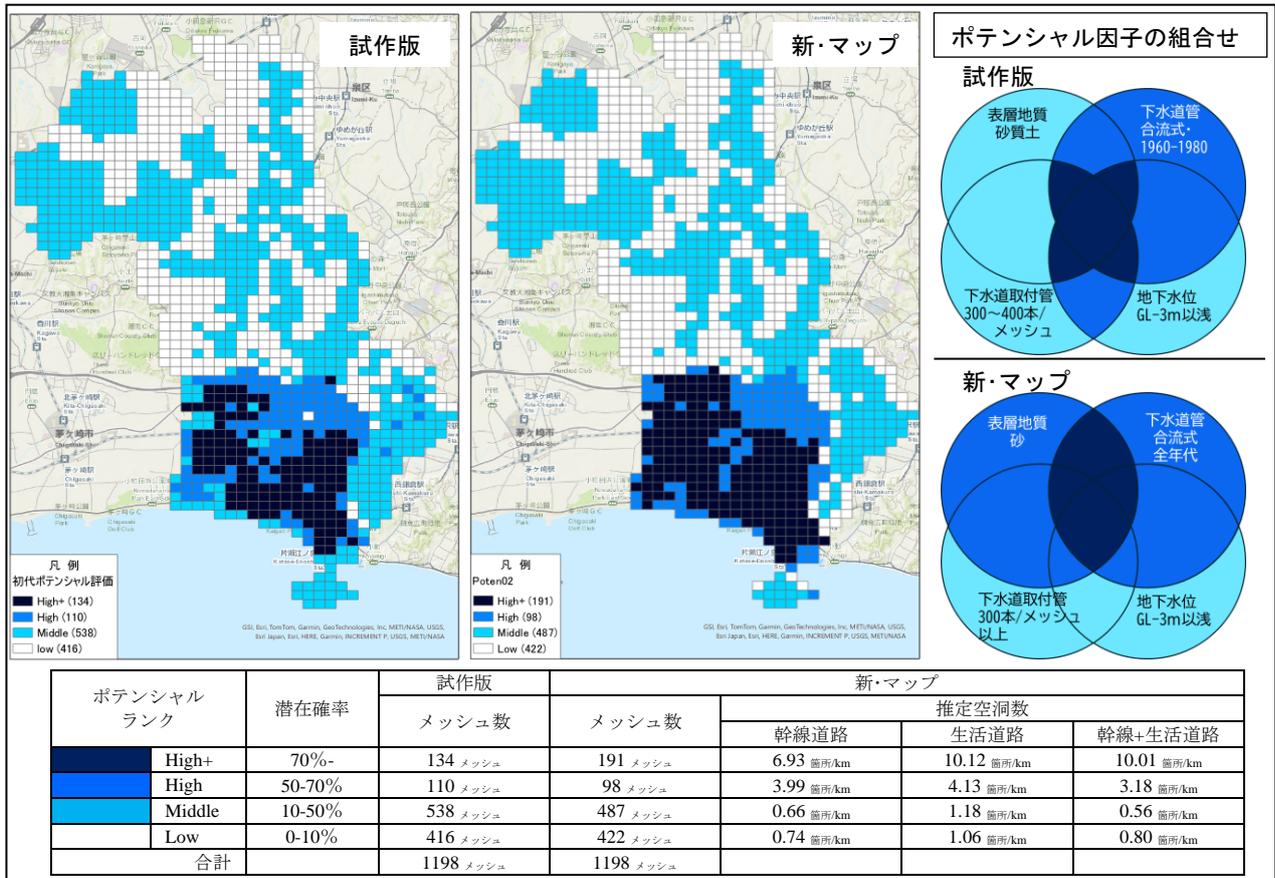


図-2 新・藤沢市空洞ポテンシャルマップと因子の組合せ・ポテンシャル体系と推定空洞数

5 今後に向けて 試作版・藤沢市空洞ポテンシャルマップを運用して得られた質の高い空洞調査データおよび陥没データを活用し、ポテンシャル評価を更新した。更新にあたっては、各因子の閾値見直し、因子組み合わせの再検討、ならびに高感度の確認を行い、予測精度の向上を図った。また、充実した空洞情報を背景に各因子を用いた重回帰分析を実施し、各因子が潜在空洞数に与える影響を実証した。その結果、質の高い調査データを活用することにより、新たに発生する空洞、陥没危険度、成長空洞などの傾向の予測精度が向上し、効率的な陥没予防策の可能性が見出された。はじめに空洞素因の地域分布を地図化し、質の良い空洞調査データを基に高いポテンシャルエリアに絞ることで陥没対策効果を向上するというこれまでの取組みは、他の都市への事例になる。今後も、空洞調査とデータ蓄積を継続し、予測値の逐次見直しを行いながら、運用体制および技術の向上に努め、安全な道路空間の提供を実現していく所存である。

¹ 瀬良ら(2022)「藤沢市道における路面下空洞の挙動観察と原因調査」地盤工学ジャーナル Vol.17, No.4, 611-622
² 瀬良ら(2019)「藤沢市・道路陥没ポテンシャルマップの開発(官学産 共同研究)」第74回土木学会全国大会(高松)
³ 東福ら(2025)「藤沢市道の陥没予防効果向上の取組み(産官学共同研究) - 陥没対策促進体制の検討 -」第79回土木学会全国大会(熊本)
⁴ 瀬良ら(2025)「藤沢市道の陥没予防効果向上の取組み(産官学共同研究) - 空洞ポテンシャル評価の検証 -」第79回土木学会全国大会(熊本)
⁵ 清水ら(2025)「藤沢市道の陥没予防効果向上の取組み(産官学共同研究)-ポテンシャルマップ運用の効果-」第60回地盤工学研究発表会(下関)

藤沢市道の陥没予防効果向上の取組み(産官学共同研究) -空洞ポテンシャルマップ運用の効果-

空洞 陥没 予防

ジオ・サーチ株式会社 正会員 ○清水 美波
同上 国際会員 瀬良 良子 瀧 洋二
藤沢市道路河川部 平田 良祐 佐藤 繁
藤沢市下水道部 近藤 和彦 張ヶ谷昌彦
東京大学生産技術研究所 国際会員 桑野 玲子

1. はじめに

藤沢市では、平成 27 年度より路面下空洞調査を開始している。定期的な空洞調査の実施を進める一方で、過密に空洞が発生している地域があったため、平成 29 年度に陥没防止に向けた産官学共同研究の一環として道路陥没ポテンシャルマップの開発が行われた(瀬良ら¹⁾)。同マップは、空洞発生しやすいさを面的に評価し、地域全体の状況と特性の分布、局所性を把握できるものである。令和元年度からは、空洞調査路線の選定に活用し、ポテンシャル値が最も高い[High+]エリアで調査が実施された。空洞調査の継続的な実施と過年度のデータの蓄積によって、精度よく空洞の変化を把握することができ、危険な空洞、すなわち陥没の可能性が高い空洞の補修を可能とした。本稿は、令和 6 年度までに得られた空洞調査結果をもとに、空洞挙動について実態を整理し、同市の道路陥没防止に対するポテンシャルマップ運用の効果について考察する。

2. 藤沢市で探査された空洞

(1) 空洞の定義

空洞の挙動を明確にするために、以下のように用語を定義した(図-1)。

- ・初回空洞：1 巡目調査で検出した空洞。空洞の発生時期は不明。
- ・新規空洞：2 巡目調査以降新たに検出した空洞。
- ・成長空洞：初回空洞または新規空洞のうち、前回検出時から発生深度・規模等に変化がみられた空洞。
- ・モニタリング：検出した経過観察中の空洞を対象に空洞の発生深度・規模等の変化の有無と新規空洞を確認する調査。

(2) 探査された空洞の内訳

藤沢市道では、平成 25 年度から 28 年度、令和元年度から 6 年度にかけて空洞調査を継続して実施してきた。初回空洞および新規空洞のモニタリングは最大 5 回にも及び、総空洞数は 2,759 箇所となっている。表-1 に藤沢市道で探査された空洞の内訳を示す。

3. 空洞地点のポテンシャル値

図-2 は表-1 で整理された 311 箇所の新規空洞・39 箇所の成長空洞とポテンシャル値を重ねた位置図、図-3 は 1,894 箇所の初回空洞・新規空洞・成長空洞地点のポテンシャル値、表-2 は成長空洞のポテンシャル値を示したものである。

図-2 より成長空洞は比較的ポテンシャル値が高いエリアに集中して発生していることに比べ、新規空洞はポテンシャル値に関わらず市全域に分散して発生していることがわかった。さらに、表-2 より藤沢市が定めた陥没危険度評価(西山ら²⁾)を跨いで成長した 7 空洞は、すべて[High+]エリアにあり、同評価内で成長した 32 空洞のうち 31 空洞が[High]以上の高ポテンシャルエリアにあったことがわかった。高ポテ

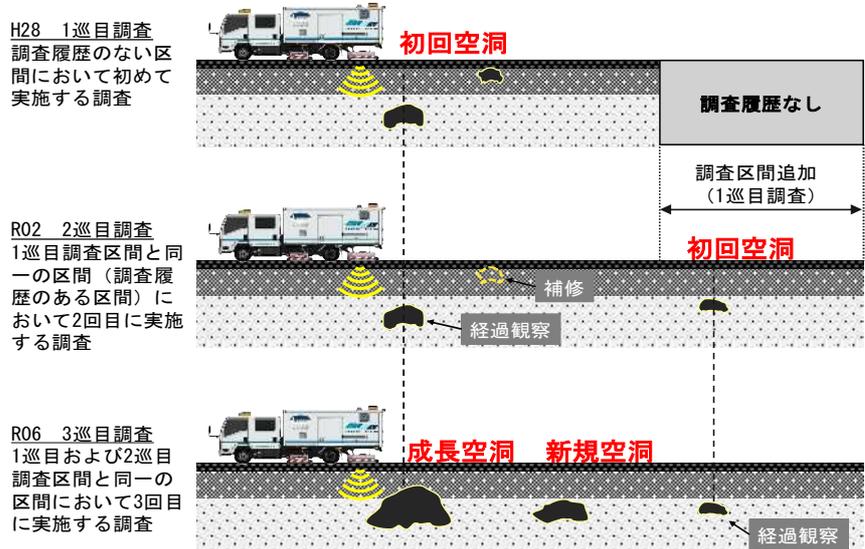


図-1 空洞の定義

表-1 藤沢市道で探査された空洞の内訳

空洞 (箇所数)	初回空洞	1894
	新規空洞	311
	成長空洞(評価変化)	7
	成長空洞(同評価内)	32
	変化なし	511
	その他	4
合計		2759

ンシャルエリアは空洞が発生しやすいエリアを指すが、成長空洞の集中傾向より空洞が成長しやすい環境でもあることが推察される。

図-3より、初回空洞および新規空洞地点のポテンシャル値を比較すると、初回空洞は[High+]エリアにおける割合が7割を超え、[Low]エリアは2%と非常に低い値であったことに対し、新規空洞は[High+]エリアにおける割合が6割で、[Low]エリアは10%であった。新規空洞は[High+]エリアでの発生が最多ではあるが、市全域に分散して発生していた傾向が数値でも示された。

初回空洞および新規空洞、成長空洞はいずれも[High+]エリアでの発生が占める割合が最も多く、同エリアでの調査が陥没予防の効率性を高めたことが確認された。これは空洞ポテンシャルマップを活用して調査路線を選定した効果を示すものでもある。

4. 空洞補修の実践

図-4は、藤沢市道の515箇所の補修空洞とポテンシャル値を重ねた図である。藤沢市は要緊急対応の空洞は迅速に補修し、その他成長空洞など危険性の高い空洞から順次補修する方針をたて、継続して実践してきた。高ポテンシャルエリアには空洞が集中して多数発生したが、あわせて同エリア内の空洞も集中して補修されてきたことで、市域の陥没件数は大幅に減少し、増加傾向が減少傾向に転じた効果を得た（東福ら³⁾。

5. 今後に向けて

空洞ポテンシャルマップの活用により、藤沢市道の陥没件数は大幅に減少した。より高い評価精度のポテンシャルマップの活用により、今後も陥没予防効果の向上が期待される。これには高い精度の空洞探査および挙動の把握が必要であり、今後もさらなる技術の研鑽に努め、安全な道路空間の提供を実現していく所存である。

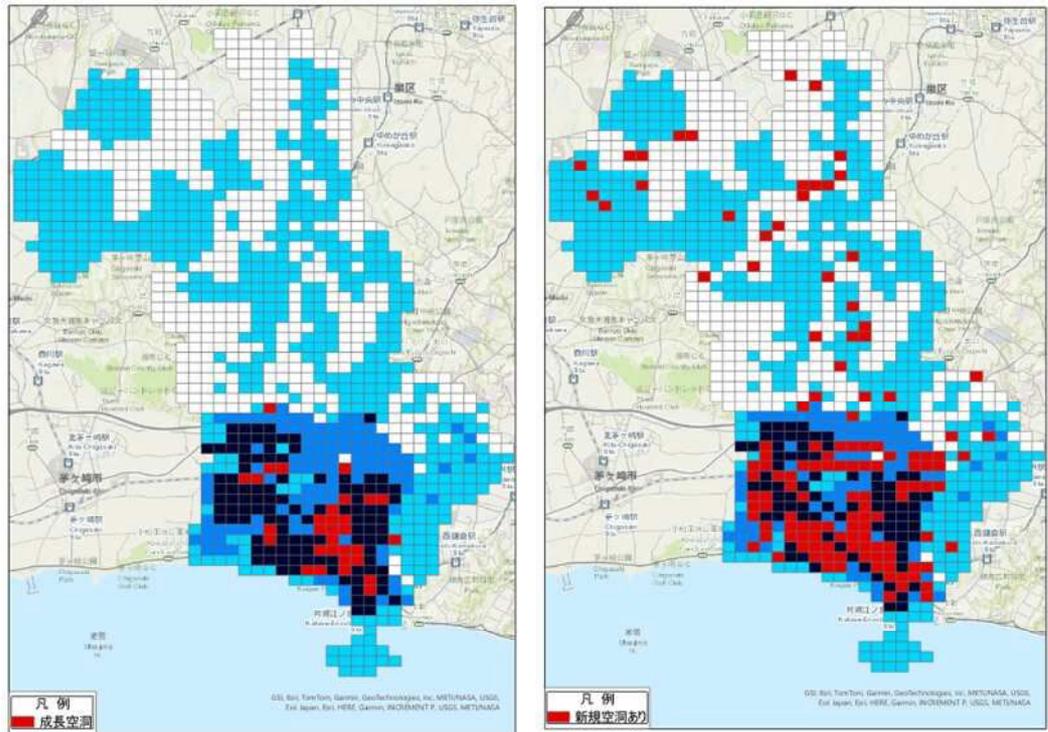


図-2 藤沢市道で探査された成長空洞(左)・新規空洞(右)とポテンシャル値の重ね図

表-2 藤沢市 成長空洞のポテンシャル値

	変化あり	変化あり(同評価内)
High+	7	24
High	0	7
Middle	0	1
Low	0	0
箇所数	7	32

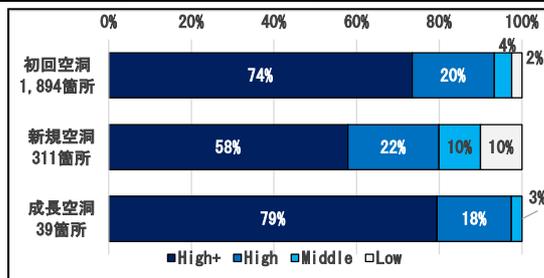


図-3 藤沢市 空洞地点のポテンシャル値

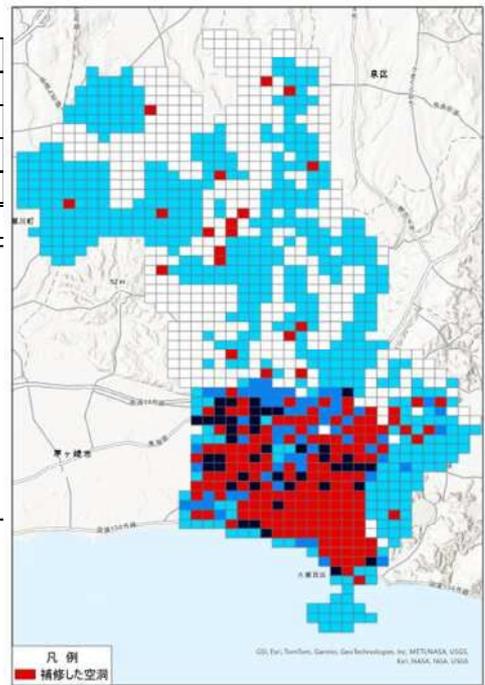


図-4 補修空洞とポテンシャル値重ね図

¹ 瀬良ら(2019) 藤沢市・道路陥没ポテンシャルマップの開発(官学産 共同研究) 第74回土木学会全国大会(高松)

² 西山ら(2019)「藤沢市における効率的な道路陥没防止手法の研究結果の報告(官学産 共同研究)」第74回土木学会全国大会(高松)

³ 東福ら(2025)「藤沢市道の陥没予防効果向上の取組み(産官学共同研究)-陥没対策促進体制の検討-」第79回土木学会全国大会(熊本)