

藤沢市道の陥没予防効果向上の取り組み（産官学共同研究） －陥没対策促進体制の検討－

藤沢市道路河川部

同 上

藤沢市下水道部

東京大学生産技術研究所 フELLOW正会員 桑野 玲子

ジオ・サーチ株式会社

正会員 ○東福 耕平

佐藤 繁 林 達 森 貴広

鈴木 豪

瀧 洋二 佐々木 基成

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。

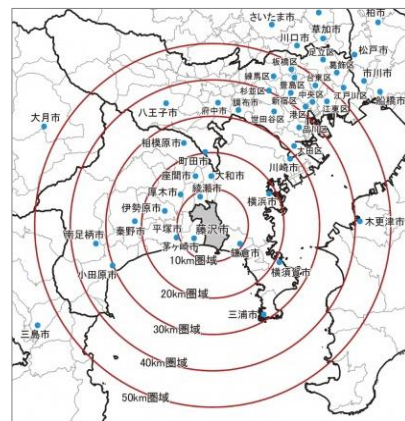


図-1 藤沢市位置図

2. 本市における道路陥没対策

(1) 空洞への対応方針 路面下空洞調査で確認された全ての異常信号（空洞）に対し原因調査や補修を行うことは、効率性に課題があり、財政負担が大きいことから、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～C」の 4 段階に分類した。このうち「要緊急対応」に分類された陥没危険度の高い空洞に対する早期補修等の対策を継続してきたことで、陥没未然予防効果が得られている。

(2) 初回・産官学共同研究 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）。

(3) 試作版・藤沢市空洞ポテンシャルマップの活用 初回・産官学共同研究前の路面下空洞調査は、市道約 1,300 kmのうち、道路機能確保の観点から主要道路約 130 kmを調査対象としていた。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。

(4) 道路部局と下水道部局の連携 本市で発生する路面下空洞及び道路陥没については、下水道施設に起因するものが多くを占めていたことから、初回・産官学共同研究は道路部局と下水道部局で取り組んだ。同研究後は、路面下空洞調査を合同で実施しており、下水道施設が起因と想定される空洞については、対策及び原因調査等を下水道部局が対応している。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、TV カメラ等による管内調査の優先度を定める評価項目に「陥没ポテンシャルの高いエリア」を加えるとともに、空洞が多発している路線を優先的に調査することで、原因の早期発見に努めるなど、両部局が連携して道路陥没防止対策に取り組んでいる。

キーワード 道路陥没，空洞，評価，対策，維持管理

連絡先 〒251-8601 藤沢市朝日町 1 番地の 1 藤沢市 道路河川道部 道路維持課 TEL0466-50-3548

(5) 情報の蓄積と活用 これまでの路面下空洞調査結果やそれに伴う対策状況、道路陥没の発生状況について、市内のGISに入力して情報を蓄積している。同GISの情報は関係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。

(6) 2回目・産官学共同研究（道路陥没対策効果分析、空洞ポテンシャル評価の高度化、対策促進体制の検討）

・**背景及び目的** 最新の道路及び下水道の状況や、継続して蓄積してきた道路陥没発生状況、路面下空洞調査結果等を踏まえて、試作版・藤沢市道路陥没ポテンシャルマップの高度化を図るため、令和6年度に、初回・産官学共同研究と同じ3者（図-2）で、同マップの有効性の検証と再構築を検討することとした。

・**本研究の成果①** 試作版・藤沢市道路陥没ポテンシャルマップの有効性の検証として、本市域の陥没件数および要緊急対応空洞（補修済）の推移グラフ（図-3）を作成した。陥没件数の積み上げグラフは試作版のポテンシャルエリアごとに色分けしたもので、High+エリアの陥没が多くを占め、頻度が高くなっている。また、同マップの活用開始以降陥没件数は大幅に減少し、増加傾向から減少傾向へ転換したことが示されていることから、同マップの有効性と、高ポテンシャルエリアを優先した道路陥没対策の効率の高さが確認できた。

・**本研究の成果②** 継続的に路面下空洞調査を実施し、調査結果等の情報を蓄積してきたことで、短期間にポテンシャルの再評価が可能となった。また、これまで限られた実態の把握にとどまっていた新規空洞や拡大した空洞の実態を多数把握できたことで、今後の陥没予防の高度化につながる分析を進めることができた（清水ら²）。

・**本研究の成果③** 既存の4つの陥没ポテンシャル評価因子（下水道管（合流式）、取付管本数、地下水位、表層地層（砂質系））及び閾値について、これまで蓄積してきた道路陥没と路面下空洞調査結果等を基に見直しを行い、ポテンシャルの再評価を図ることで、より精度の高いマップに更新した。（瀬良³）

・**課題** これまで主要道路と高ポテンシャルエリアの生活道路等を対象に、路面下空洞調査を実施してきたことから、調査実績が少ない低ポテンシャルエリアの実態の把握に課題がある。今後、陥没履歴や腐食環境下にある下水道施設の埋設状況等を踏まえ、同エリア内の路線を選定して調査を進めることで、同マップの有効性を確認するとともに、さらなる道路陥没対策の高度化につなげたい。

4. 今後の展望 本研究で開発した「藤沢市空洞ポテンシャルマップ」を活用し、道路陥没対策に取り組むとともに、継続して路面下空洞調査結果や陥没発生状況、修繕等の情報を蓄積することで、より効率的かつ効果的な対策を目指す。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。

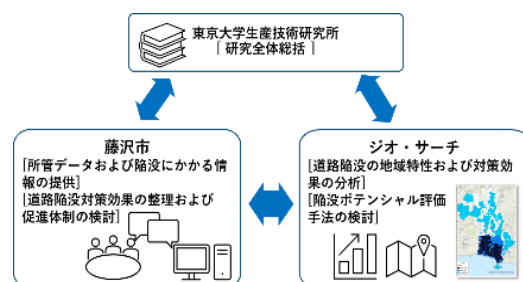


図-2 2回目・研究体制

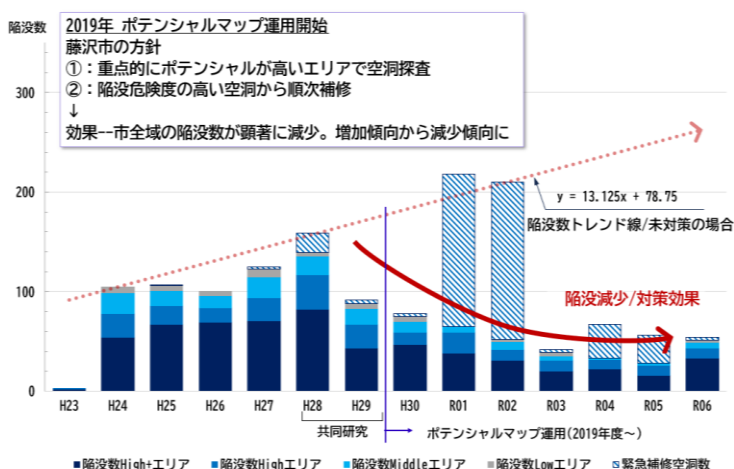


図-3 藤沢市陥没件数+要緊急対応空洞の推移

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 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)-空洞モニタリング調査の効果-」第79回土木学会全国大会(熊本)

³ 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)

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 -

ジオ・サーチ株式会社 正会員 ○瀬良 良子
同 上 瀧 洋二 佐々木 基成
藤沢市道路河川部 平田 良佑 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 フェロー会員 桑野 玲子

1. ポテンシャルマップ高度化の検討 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年間「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で得られた砂質地盤における空洞機構や、下水道管継ぎ目のわずかな隙間で形成される空洞（瀬良ら¹⁾）など、現場から得られた多様な知見が、図-1に示す試作版・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⁾）。市はこれら研究成果に基づき陥没対策の方針を定め、2019年度から同マップを空洞調査計画に活用している。運用開始以降、高ポテンシャル地域を中心に空洞調査の実施や、従来より継続してきた要緊急空洞の補修により、陥没件数は増加傾向から減少傾向へ転じ、大幅な削減が達成された（東福ら³⁾）。今回、豊富な実践調査データをもとに、ポテンシャル評価の高度化を検討するとともに、試作版評価の妥当性を検証し（本報告）、評価に用いるデータ（下水道、空洞調査、陥没）の更新と評価方法、も再検討した（瀬良ら⁴⁾）。

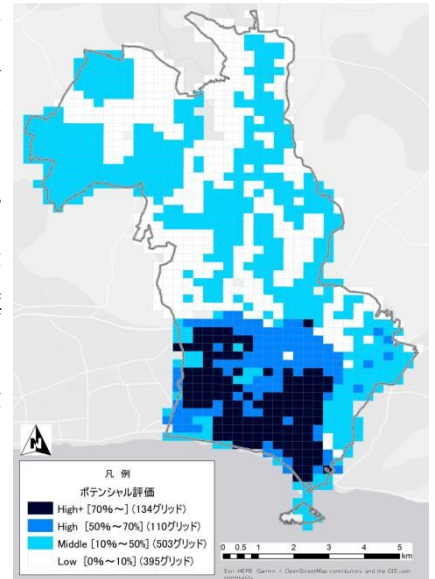


図-1 試作版・藤沢市道路陥没ポテンシャルマップ²⁾(2019年3月開発)

2. 空洞・陥没ポテンシャルの定義 空洞は形成されやすい素質（素因）が備わった環境において、土砂の流出経路が確保（誘因）されると発生する。たとえば、流動性の高い地盤に水の動きが加わり、地中管路に穴が開くと土砂が流出し、空洞が生成、さらに経時的に拡大していく。一方、豪雨や大規模地震などに起因して突発的に陥没する場合もある。これは、空洞が発生しやすい環境とその後の拡大環境が、部分的に共通するものの必ずしも同一ではないということの意味しており、藤沢市の空洞調査結果からもすべての空洞が一樣に拡大して陥没に至っていないことが確認されている。この現象（地盤内に生成された空洞が安定し進展しないこと）については桑野ら⁵⁾の報告で詳述されている。広義には同一視されることもあるが、環境や挙動、出現頻度の違いを鑑み、空洞と陥没のポテンシャルは別個に定義する。本整理により、「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」に名称変更を行った。

- ・空洞ポテンシャル = f (空洞素因)
- ・陥没ポテンシャル = f (空洞ポテンシャル, 規模, 拡大可能性+災害等)

3. 試作版ポテンシャル評価の検証 (1) 試作版の概要 因子および評価方法は、前研究における原因追及調査結果を参考に設定した。評価因子は[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素因とし、それぞれを形式・年代や本数などで階層訳を実施。これら各因子と空洞/陥没情報と重ね合わせ、各因子の空洞/陥没頻度に対する感度分析から閾値を設定した。また「老朽化下水道管と砂質地盤での高地下水位」といった実態に基づきパラメータを因子組合せを検討し、評価は[High+]・[High]・[Middle]・[Low]の4段階とした(図-2)。

ポテンシャル値	陥没因子の組合せ
High+ (潜在確率 70% -)	下水管形式 合流式
High (潜在確率 50-70%)	下水取付 管密度 300本/メ ッシュ以上
Middle (潜在確率 10-50%)	地下水位 の高さ GL-3m 以下
Low (潜在確率 0-10%)	表層地質 砂質土
	なし

図-2 試作版・ポテンシャル因子²⁾

キーワード 道路陥没, 空洞, 評価, 対策, 維持管理

連絡先 〒144-0051 東京都大田区西蒲田 7-37-10 ジオ・サーチ(株) 減災事業本部 TEL03-5710-0200

(2) 検証に用いたデータ 試作版と今回用いた陥没および空洞データの比較を下表に示す。7年間で新たに陥没した154件であるのに対し、探査された空洞

(空洞調査で特定された空洞の可能性のある信号、以降空洞とする)は同期間で10倍以上に達している。これはR01年度およびR02年度の【High+】エリアにおける空洞調査で約1,600空洞が探査されたためと考えられる。また、空洞の拡大可能性を明確化するため、初回空洞(調査履歴のない区間で初めて検知された空洞)と新規空洞(調査履歴のある区間で新たに発生、発生からの大よその経過時間が把握できる空洞)の区別を行った(清水ら⁶⁾)。

(3) 陥没/空洞の発生実態 vs 評価

右表には、試作版・評価ランクごとのエリアにおける陥没、空洞および成長空洞の出現率を示している。【High+】では陥没が88.0%、空洞が98.5%のメッシュで発生、【High】ではそれぞれ61.8%、78.1%の発生が確認された。これにより、想定したエリアにおいて実際に陥没・空洞が発生し、評価精度が高いことが確認された。また、陥没・空洞ともに【High+】エリアで最も発生頻度が高く、発生頻度は【High】【Middle】【Low】の順で相対的に整合しており、さらに成長空洞も相対順位が変化しなかったことから、試作版ポテンシャル評価の妥当性が確認された。

(4) 陥没/空洞発生メッシュのポテンシャル評価 1,011件の陥没および1,894件の初回空洞は、特定のメッシュやエリアに集中しており、最多の陥没件数は1メッシュあたり20件、空洞件数は42件に達した。なお、10件以上発生していたのは、陥没が18メッシュ(うち【High+】16メッシュ)、空洞は66メッシュ(【High+】36メッシュ)であり、いずれも【High+】または【High】エリアに集中していたことから、試作版評価の妥当性が裏付けられた。

4. 試作版ポテンシャル評価運用の効果 下図は、藤沢市域における陥没件数および陥没直前の状態で探査された要緊急対応空洞(補修済)の推移グラフである。ポテンシャルエリアごとに色分けされた試作版・陥没の積み上げグラフから【High+】エリアで陥没が高頻度に発生している実態と、100件以上/年の陥没が、ポテンシャル評価運用後に陥没が減少傾向に転じたことがわかる。前回は空洞数の推定精度に課題があったが、本検討では未対策と対策後の2予測式で陥没数の推定値を算出した(図-3)。

5. 今後に向けて 試作版空洞ポテンシャル評価の実践および、質の高い大量の空洞調査データを用いた検証と再分析により、評価精度が大幅に向上した。産官学共同による本検討は、藤沢市の陥没対策の効果向上のみならず、他都市における路面下空洞調査を活用した陥没対策の参考資料としても期待される。別途試算により、現時点での市全域の潜在空洞数および経年的

な増加傾向が示唆されたことから、今後も効果的な対策が求められる。引き続き、空洞調査およびデータ蓄積を継続し、予測値の見直しや評価手法の改善を図ることで、安全な道路空間の提供に努めていく所存である。

表-1 前回評価と今回評価で用いた空洞等データ数の比較

陥没と調査区間	陥没 H23~R06/12	調査区間と延長(km)			
		調査区間	調査実施		
前回 H29H30	857 件	106 区間	147.3km		
今回 R06	1,011 件*	1,293 区間	621.4km		
空洞	空洞：H25~R06 年度				
	初回空洞	新規空洞	成長空洞	その他	空洞のべ数
前回 H29H30	233	30	9	-	272 箇所
今回 R06	1,894	311	39	515	2,759 箇所

*陥没 1,011 件のうち、発生日がわかるが位置が不明な 4 件を含む

表-2 藤沢市試作版・ポテンシャル評価 vs 実態空洞数と出現率

ポテンシャル	全メッシュ数	陥没			空洞			成長空洞		
		①	②	③	①	②	③	①	②	③
High+	134	118	617	88.0%	132	2035	98.5%	60	220	44.8%
High	110	68	208	61.8%	86	485	78.1%	30	67	27.2%
Middle	538	94	141	17.5%	73	148	13.6%	24	32	4.46%
Low	416	34	45	8.2%	47	91	11.2%	22	31	5.29%
合計	1198	315	1011	26.2%	338	2759	28.2%	136	350	11.4%

①発生メッシュ数 ②陥没数/空洞数/成長空洞数 ③出現率(発生メッシュ/全メッシュ)

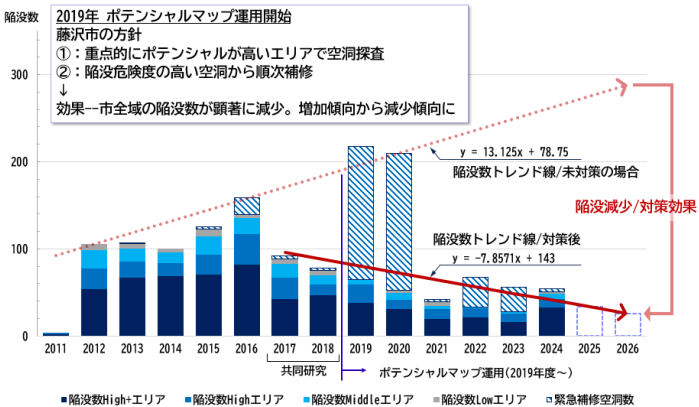


図-3 藤沢市 陥没件数+要緊急対応空洞の推移

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高度化-」第60回地盤工学研究発表会(下関)
⁵ 桑野ら(2021)「路面下空洞の生成・拡大メカニズムと陥没危険度の評価」地盤工学ジャーナル Vol.16, No.4, 307-317
⁶ 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)

-空洞モニタリング調査の効果-

ジオ・サーチ株式会社 正会員 ○清水 美波
同上 佐々木基成 木村裕佳子
藤沢市道路河川部 林 達 栃木洋一郎 森 貴広
藤沢市下水道部 坂井 洋介
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

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、空洞発生のしやすさを面的に評価し、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モニタリングと補修の効果について考察する。

2. 空洞モニタリング調査結果の分析

(1) 空洞の定義

空洞の挙動を明確にするため、以下のように用語を定義した(図-1、清水ら²⁾)。

- ・初回空洞：1 巡目調査で検出した空洞。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・規模等の変化有無と新規空洞を確認する調査。

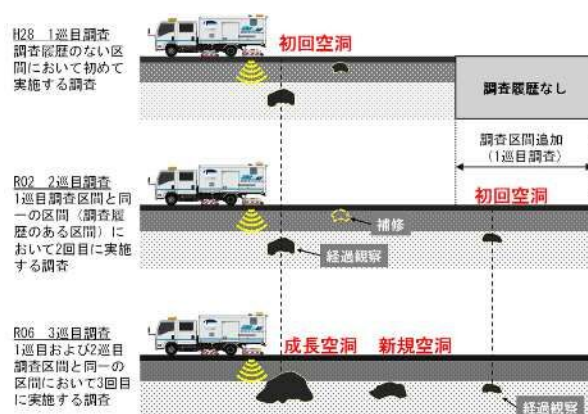


図-1 空洞の定義

(2) 探査された空洞の内訳

藤沢市道では、平成 27 年度から空洞調査を継続して実施してきた。モニタリング調査は最大 5 回にも及び、総空洞数は 2,759 箇所となっている。探査された空洞の可能性のある異常信号(以降、空洞とする)は、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~C」の 4 段階に分類整理されている(西山ら³⁾)。表-1 に探査された空洞の危険度評価の内訳を示す。

表-1 藤沢市道で探査された空洞の危険度評価の比較

空洞 (箇所数)	初回空洞	1894	20%23%20%37%			
	新規空洞	311	6%14%19%61%			
	成長空洞 (評価変化)	7	57%43%			
	成長空洞 (同評価内)	32	25%19%25%31%			
	変化なし	511	15%22%63%			
	その他	4				
	合計	2759	15%20%20%45%			

(3) 空洞の早期発見とモニタリング調査による効果

表-1 より、初回空洞は 1,894 箇所危険度 A 以上が 43%を占め、市全域の陥没リスクの高さを示している。また、これら危険度の高かった空洞は早期補修対応が必要とされた。一方で、新規空洞は 311 箇所危険度 A 以

キーワード 空洞、道路陥没、予防

連絡先 〒144-0051 東京都大田区西蒲田 7-37-10 グリーンプレイスビル 9 階

ジオ・サーチ株式会社 TEL03-5710-0215

上が 20%であった。これは、初回空洞は発生時期が不明のため検出時点で成長した規模の大きな対応を要する空洞が多いことに対し、新規空洞は発生初期であるため、比較的発生深度が深く規模も小さい空洞が多かったものと考察される。これら新規空洞は以降モニタリング調査により変化が確認された空洞のみが補修対象となる。このことから、空洞の早期発見とモニタリング調査により適切な補修等が実現すると考えられる。

(4) 変化が確認された空洞の考察

表-1 より、成長空洞は 39 箇所、変化が認められなかった空洞は 511 箇所あることがわかった。成長空洞のうち、陥没危険度評価を跨いで変化した空洞が 7 箇所、同ランク内で変化した空洞が 32 箇所であった。危険度評価を跨いだ 7 空洞はすべて A ランク以上となっており急激に陥没の危険性が高まったことが示されている。一方で、同ランク内変化の 32 空洞は、要緊急～C まで内訳の偏りはなかった。変化空洞とポテンシャル評価を重ねたところ(図-2、清水ら²⁾、双方ともポテンシャル値が最も高い[High+]エリアにあったことが示された。このことから、空洞が発生しやすい高ポテンシャルエリアは、空洞が成長しやすい環境であることも推察される。

(5) 補修による陥没リスクの軽減

藤沢市の方針は、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こととなっている。平成 27 年度よりこれを継続した結果、これまで 515 空洞の補修が完了し、現在経過観察中の管理下にある空洞は 2,244 箇所となっている。図-3 に、これまで藤沢市で探査された全空洞と管理下にある経過観察中の空洞の陥没危険度の内訳を比較する。全空洞の要緊急対応は 15%を占めていたが、現在管理下にある空洞には同ランクの空洞はない。また、現在管理下にある空洞の 5 割以上はC ランクとなっている。継続した補修とモニタリング調査での成長空洞の把握により市全域の陥没リスクの低減効果が図られた。

3. まとめ

平成 27 年度から令和 6 年度までに得られた調査結果をもとに市内の空洞発生頻度の推移について実態を整理した結果、以下の空洞モニタリング調査の効果が確認された。

- ・ 早期発見と高精度な空洞の変化の把握による適切な補修等の実施
- ・ 空洞変化の把握による補修判断で、市全域の効率的な陥没リスクの低減

以上、精度よく空洞の挙動を捉えることができるモニタリング調査は、陥没対策に対して効果があり今後も継続的な実施が望まれる。

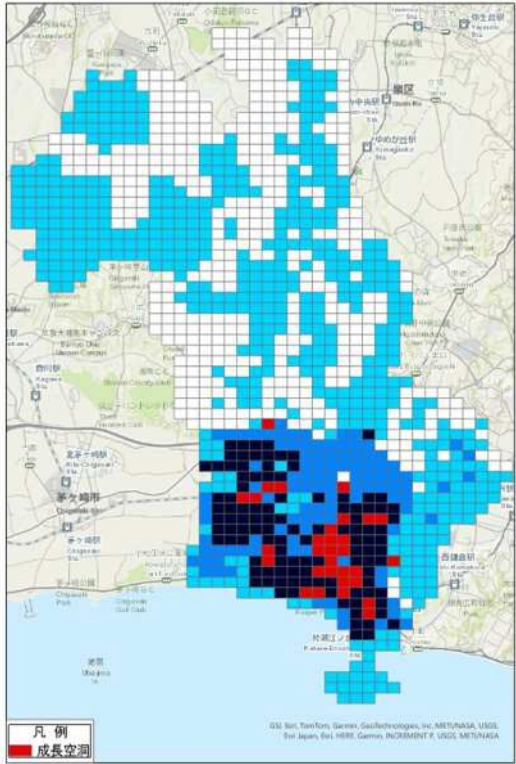


図-2 藤沢市の成長空洞とポテンシャル値の重ね図

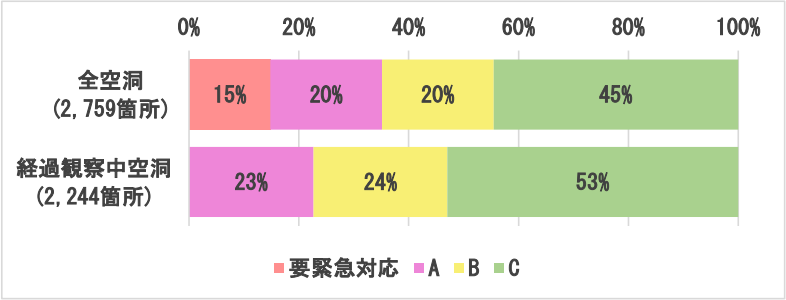


図-3 藤沢市 経過観察中空洞の陥没危険度評価別

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)-空洞ポテンシャルマップ運用の効果-」第 60 回地盤工学研究会(下関)
³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成果の報告(官学産 共同研究)」第 74 回土木学会全国大会(高松)