

1. 路面陥没リスクと路面下空洞調査

株式会社ウエスコ ○濱田 展寿

田山 良一

花田 拓也

1. はじめに

近年、インフラ設備の老朽化に伴いストックマネジメントの重要性が叫ばれる中、道路の陥没事故は私たちの身近なところで発生する事象となっている。令和2年度では全国で9,000件にものぼる道路陥没が発生しており、その原因(要因)は道路排水施設やボックスカルバート橋、河川施設、下水道施設等の多岐にわたる構造物の老朽化に伴うものである。

路面下空洞調査は、電磁波レーダを用いて非破壊により路面下の空洞を見つける探査技術であり、陥没事故を未然に防ぐために用いられる調査技術である。本稿では、路面下空洞調査の概要について触れ、実際に抽出された空洞箇所での削孔調査と開削工事の状況を紹介するとともに、それらから想定される空洞発生原因と路面陥没リスクについて考察する。

2. 最近の路面下陥没トピックス

平成28年11月8日、福岡市地下鉄七隈線延伸工事現場において発生した道路陥没事故は、幅約27m、延長約30m、深さ約15mの巨大なものであり、この陥没事故などを受けて「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」が令和2年度3月に策定された。このガイドラインでは、地質・地盤リスクマネジメントの概念や基本事項がまとめられており、実際にリスクマネジメントを進めるうえでの実施内容や手順が例示されている。これにより、今後は地質・地盤リスクマネジメントの重要性が高まるものと考察する。

地質・地盤リスクに含まれるものとして、道路の陥没事故が挙げられる。令和2年度では、全国で9,000件にものぼる道路陥没が発生している(図-1参照)。その原因を見ると、道路関係施設を原因とするものが半数を占め、続いて道路占用物件が原因となる場合が多い。このように道路陥没発生の原因を見ると、インフラ設備の老朽化に伴い道路の陥没事故が発生する件数は、今後増えることが想定される。

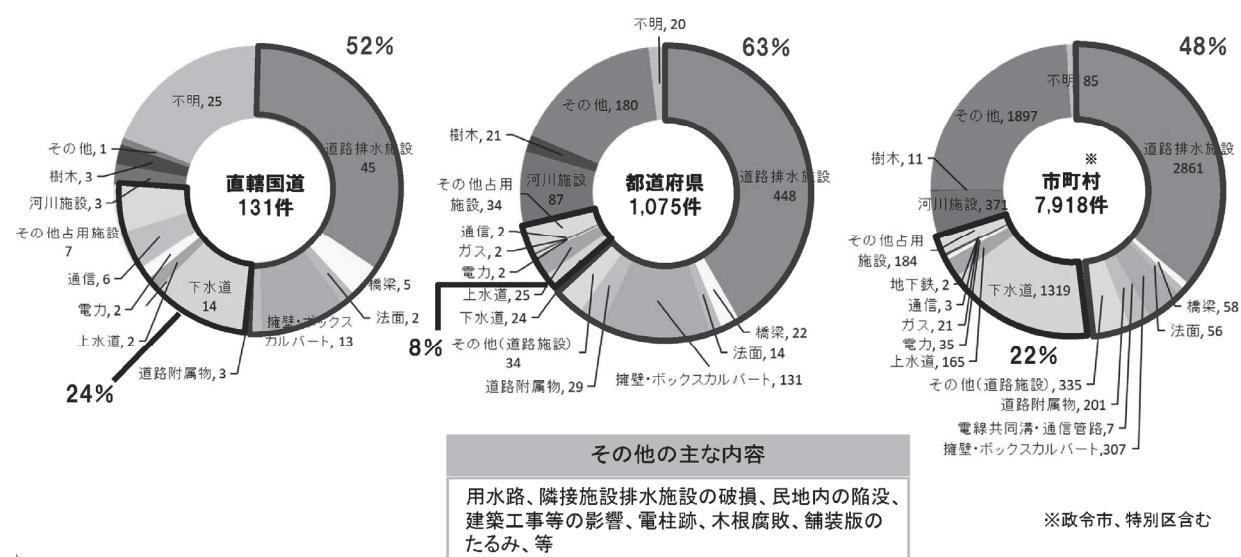


図-1 令和2年度道路陥没発生件数とその内訳¹⁾

直近で話題となったのが、令和3年11月11日に発生した道道岩見沢桂沢線での道路陥没事故である。この事故では幅約7m、延長約7m、深さ約6mの陥没が発生し、乗用車1台が転落、乗車してい

た3人が重軽傷を負っている。このような陥没事故を未然に防ぐための調査技術として、地中レーダ探査装置を用いた路面下空洞調査が実施されている。

3. 路面下空洞調査の概要

図-2には、路面下空洞調査の流れを示す。一次調査では、地中レーダを搭載した路面下空洞探査車等を用いて広域的な調査を実施する。その後、抽出された異常信号箇所(=空洞の恐れがある箇所)についてハンディ型地中レーダ探査を実施することで詳細な広がりを確定する。最終的にスコープ調査を行うことで空洞を確定し、その規模や空洞底面の緩み等の状態を確認する。

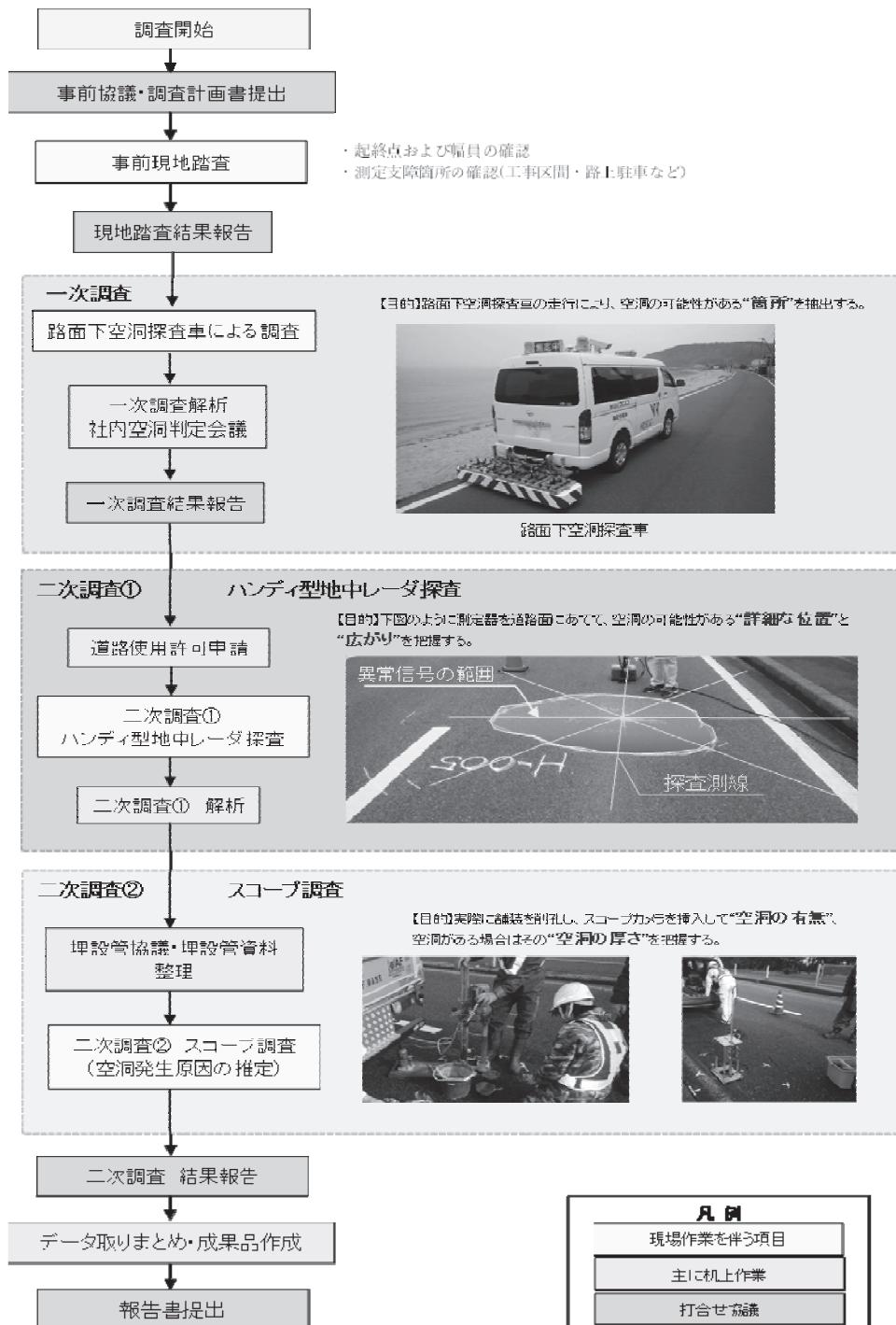


図-2 路面下空洞調査の流れ

4. 空洞発生のメカニズム

空洞が発生する原因は、図-3 に示すように大きく分けて(a)吸出しによる場合、(b)圧縮沈下による場合の 2 種類に分類できる。(b)の場合は、圧縮沈下の終息と共に空洞の発達は鈍化する。しかし、(a)の場合は吸出しが続く限り空洞の発達は進行し、陥没に至る危険度は徐々に大きくなる(図-4 参照)。空洞が陥没に至る可能性の危険度評価は、図-5 に示すように地表面における空洞の広がりと空洞発生深度によって決めることができる。これは、ランク A が陥没に至る可能性が高く、相対的にランク C が低いことを示している。

このように、抽出された異常信号箇所は最終的にリスク管理がされる。

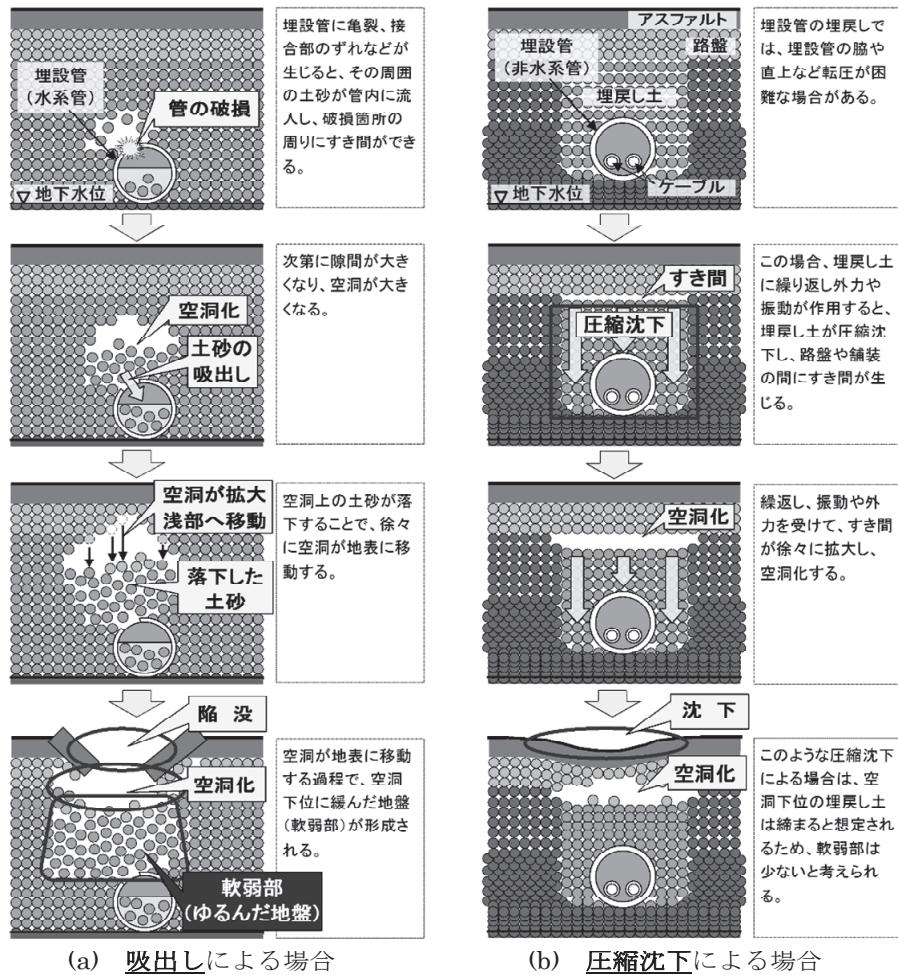


図-3 空洞発生のメカニズム

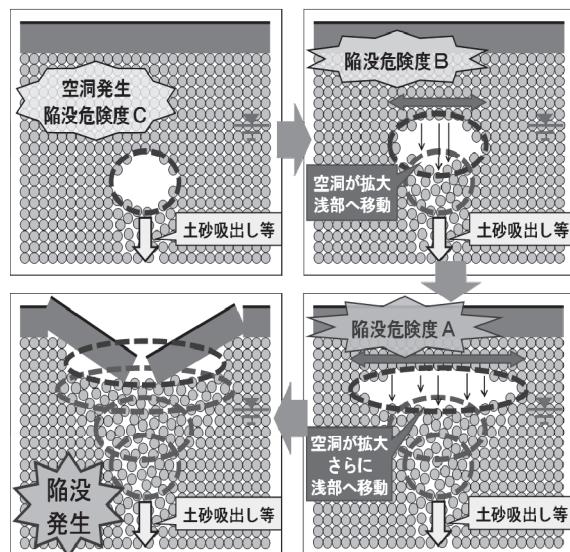


図-4 空洞発生から陥没に至るメカニズム

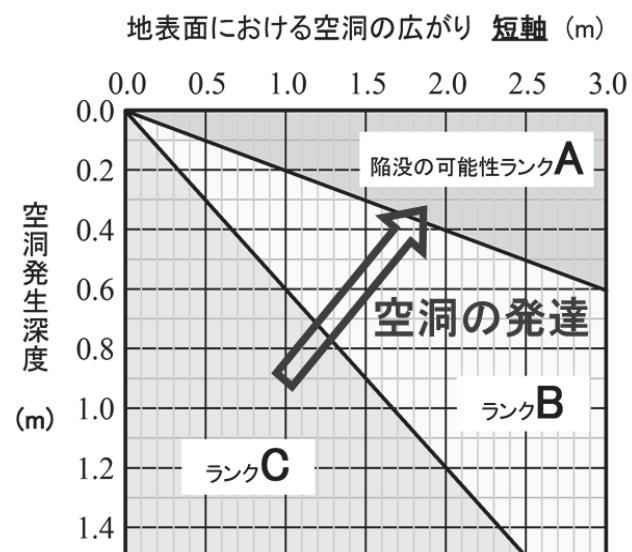


図-5 路面陥没発生の可能性評価基準図²⁾

5. 空洞発生の事例(状況と原因の考察)

図-1 で示したとおり、道路陥没発生の原因は様々である。ここでは、原因として多く報告がある土木構造物ごとに空洞発生の事例を挙げ、その状況と原因について考察を行う。

5.1. 道路排水施設

道路には様々な排水施設が設置されており、その種類はコンクリート二次製品の側溝やヒューム管、コルゲート管など多種多様である。これらは、構造上継手が必要となることからその継手や経年劣化による本体の破損等により、地下水の供給と共に吸出しを受け、空洞が発生し成長する。路面下空洞調査では、発見された異常信号箇所の周辺状況を道路台帳等の施設図面で確認するが、施設図面に管渠の存在が認められる場合には、異常信号箇所との位置や深さに留意して原因を予測することが重要である。ただし、施設図面に記載のない「残置管(不明管)」が原因の場合も見受けられるが、得られる情報が当然ながら少ないために予測することは非常に困難である。



図-6 横断水路上の空洞



図-7 ヒューム管の破損



図-8 残置管(不明管)の例

5.2. ボックスカルバート

ボックスカルバート橋のうち、空洞が発生しやすいのは水路ボックスカルバートである。立体交差や人道ボックスなどの地上ボックスカルバートは、地下水位より上位に位置するため、吸出しが起こりにくい。ただし、地上ボックスカルバートと盛土の境界の不連続面で水みちが形成されて、空洞となる場合も考えられる。対して、水路ボックスカルバートは地下水位付近に位置することから吸出しを受けやすい。場合によっては、図-9 の様に両脇に空洞が発生する場合も見られる。また、断面が相対的に大きいために内部の流速も早く、小さな損傷から大きな空洞へと発達する可能性がある。



図-9 ボックス両脇の空洞



図-10 ボックス脇の空洞



図-11 破損状況

5.3. 橋梁

橋梁橋台付近は、縦断線形的に周囲の道路高よりも高いことが一般的なため、地下水が流動する環境がないことから、空洞が発生する可能性は低いと言える。しかし、橋台と盛土の境界で水みちが形成された場合には、空洞となる可能性がある。また、橋台背面の安定問題に起因して、図-13 の様に盛土の安定が損なわれている場合には、盛土の移動に伴う引張亀裂に起因した空洞が発生する可能性がある。引張亀裂に伴う空洞の広がりは、同心円状ではなく図-12 の様に亀裂に沿った細長い形状を示す場合が多い。



図-12 引張亀裂に伴う空洞

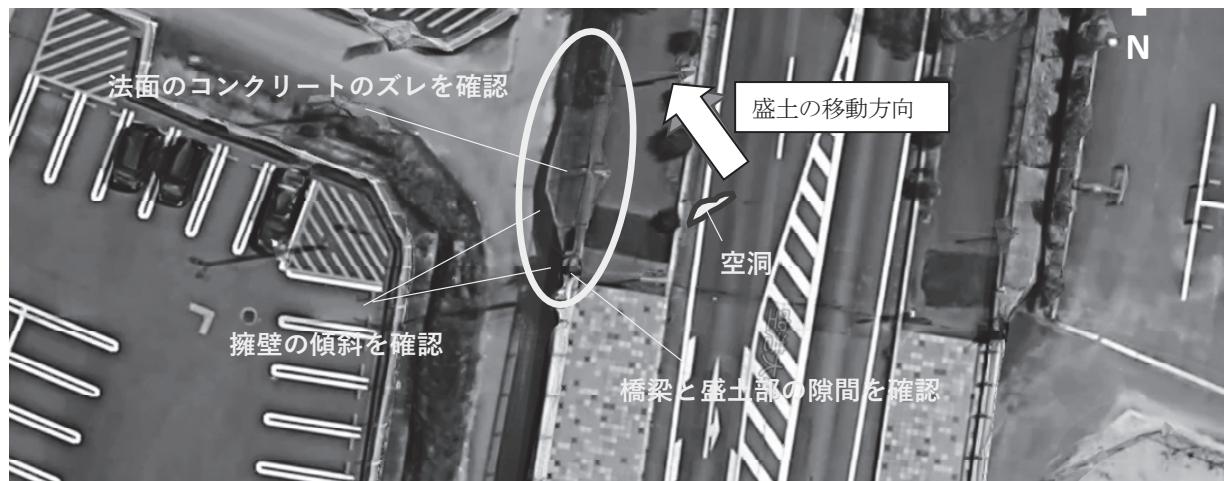


図-13 橋台裏側の盛土の移動に伴う空洞

5.4. 道路法面の安定

盛土法面の安定が損なわれると、円弧すべりが発生する。円弧すべりの場合は、図-14 に示すような馬蹄形クラックが地表面に発生する。その頂部では、引張亀裂に伴う空洞が発生する場合がある。この場合、盛土の安定対策が必要であり、空洞のみを補修しても道路の安全が確保できない。



図-14 円弧すべりに伴う空洞箇所

5.5. 下水道・上水道

下水道の場合は、自然流下で空中管であることから、吸出しが原因となる場合が多い。その場合には、下水道管内部をカメラ調査すると、図-15 の様な侵入水跡が見られる。対して、水管(配水管)は圧力管であることから、漏水が無ければ埋め戻し土の転圧不足に伴う圧縮沈下が原因となる場合が多く、相対的に空洞の規模は小さいものが多い。しかし、稀に配水管の周辺で図-17 に示すような規模の大きな空洞が確認される。図-17 に示す空洞の周辺配水管には目立った漏水の痕跡は見られず、この原因是定かではないが、配水管に沿った水みちの形成である可能性が考えられる。

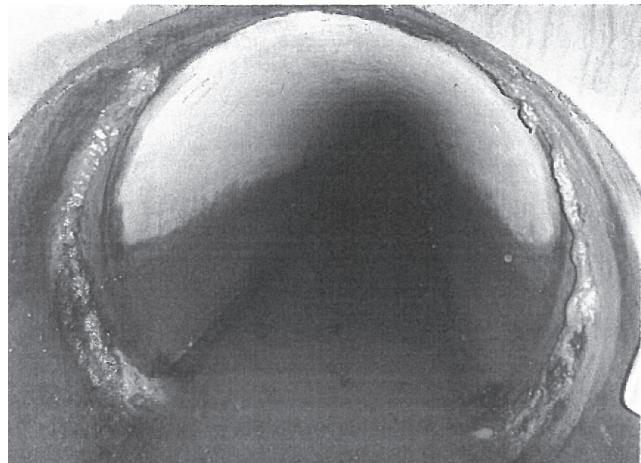


図-15 下水道管内の侵入水跡

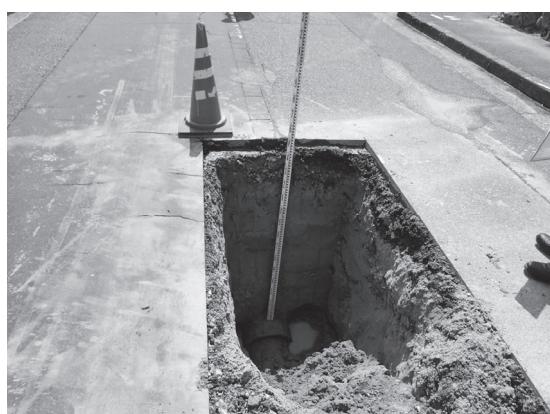


図-16 下水道管周辺の緩み

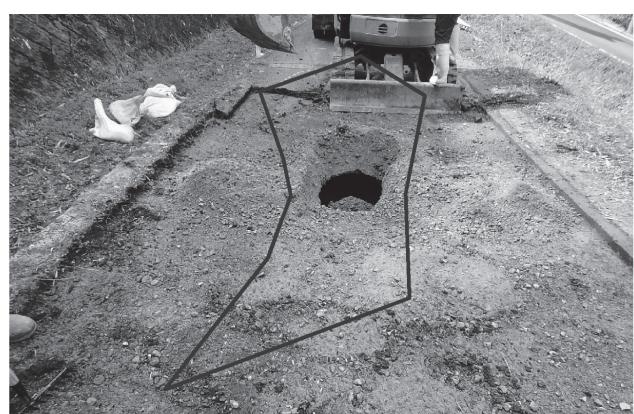


図-17 縦断配水管に沿った空洞

5.6. 河川施設

河川護岸の老朽化に伴い、その背後の土砂が河川に吸出されることを原因とする空洞が多く確認される。河川護岸背面の空洞の特徴として、空洞の厚さが非常に厚く、護岸の基礎底面から上端の舗装面直下まで空洞である場合も見られる(図-18 参照)。さらに、河川護岸が縦断方向に連続する構造物である特徴から、空洞の広がりも河川護岸に沿って連続的に大きいことが挙げられる(図-19 参照)。また、河川の攻撃斜面に面した河川護岸は、特に護岸基礎の洗出しを受ける可能性が高いため、注意が必要となる。河川護岸の形

式が変化する箇所付近では、不連続面となるため河川水の進入が起こりやすいため土砂の吸出しが相対的に発生しやすい。対策として、河川護岸裏側の空洞のみを対象として開削埋め戻しを行っても、根本的解決には至っておらず再発する可能性が非常に高いため、中長期的には河川護岸の改修工事を行うことが望ましい。



図-18 河川護岸の裏側全体に広がる空洞

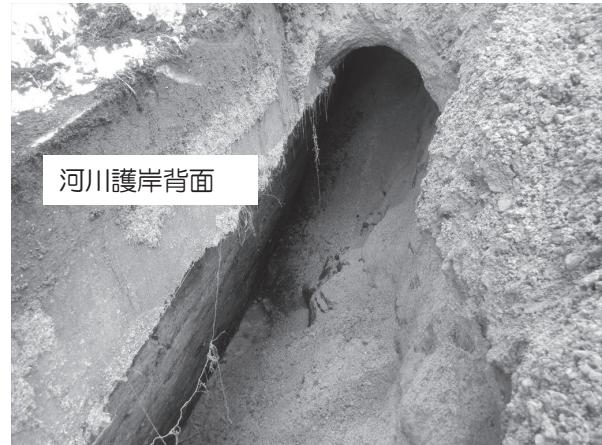


図-19 河川護岸に沿って連続する空洞

5.7. 海岸施設

海岸護岸背後にも、河川護岸と同じメカニズムで空洞が発生する。また、空洞の特徴もそれと非常によく似ている。河川護岸の空洞と異なる特性は、潮位変動を受けている点である。一定周期で常に干満の潮位変動を受けるため、河川護岸に比べてより地下水が動き、さらに流動方向が一定ではないことから吸出しを受けやすい素因を有している。また、拡幅に伴い旧堤防が地中に残っている場合には、護岸の構造によっては旧堤防に沿って吸出しが発生し、空洞が形成される場合が見られる(図-20 参照)。河川護岸と同様に、海岸護岸についても中長期的には海岸護岸の改修工事を行うことが望ましい。

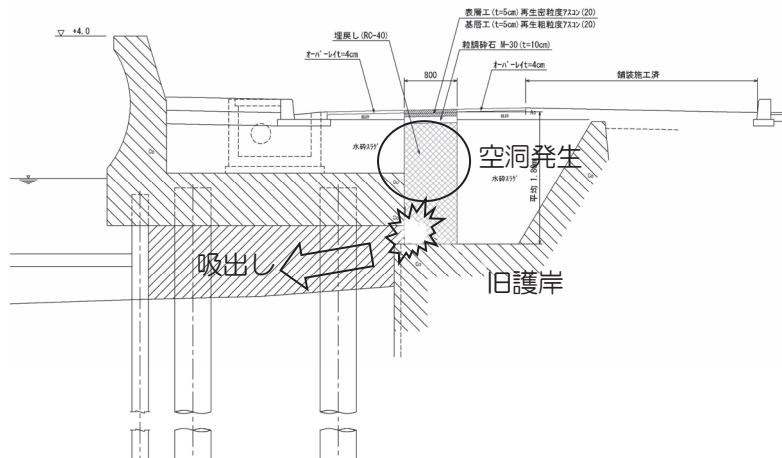


図-20 拡張護岸の背部の旧堤防からの空洞発生

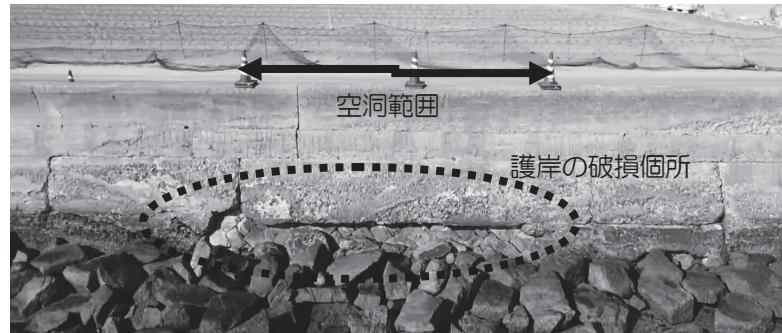


図-21 空洞発生箇所の護岸破損状況

5.8. その他

その他の空洞発生の原因として、ここでは古い石積が存在した場合の空洞について例を挙げる。この事例では、施設図面である道路台帳には水路等の横断函渠は確認されず、埋設物管理者への聞き取り調査においても埋設管は確認できなかった。しかし、縦断の広がり 0.6m、横断の広がり 0.9m、空洞の厚さは相対

的に大きい 1.19m の空洞が現地にて確認された。開削復旧工事を行ったところ、地中から円礫を用いた石積擁壁と思われる構造物が出現した(図-23 参照)。そのことから、結果的にこの石積擁壁が不連続面となり、地下水流动に差異が生じたために水みちが形成され、空洞が発生したと結論付けた。



図-22 開削復旧工事で確認された空洞



図-23 空洞側面の古い石積擁壁

6.まとめ

本稿では、路面下空洞調査の概要を述べるとともに、調査結果を受けて行われた開削復旧工事等の資料から、空洞発生の状況と原因について考察を行った。このように、路面下空洞が発生する原因は様々であり、そのために素因と誘因がそろえばどのような場所でも空洞は発生する。したがって、路面陥没事故はごく身近な地質・地盤リスクとなりつつある。今後、インフラ設備の老朽化に伴い、地質・地盤リスクマネジメントの一環として路面下空洞調査は重要となるものと想定される。

また、吸出しによる路面下空洞は時間と共に成長(拡大)する特徴を有する。したがって、原因の種類によっては予想以上の速さで成長(拡大)し、甚大な被害をもたらす危険性がある。路面下空洞調査によって異常信号もしくは空洞が確認された場合には、速やかかつ適切な対策を行うことが肝要である。

更に、空洞発生の原因は様々であり複雑である。したがって、異常信号や空洞を見つけるだけではなく、空洞発生の原因を適切に予測し、素因と誘因を整理することによって最適な維持・補修が可能になると考へる。そのためには、空洞調査において「現場を見る目」と「空洞が発生する過程を空想できる洞察力」が重要と筆者は感じている。そのためにも、現場での経験が重要であると言える。

今後、路面下空洞調査が実施され調査結果の蓄積がなされると予想されるが、地質・地盤リスクマネジメントの導入に当たっては全体の効率化、収集した情報のプラットフォーム構築、更にはオープン化する仕組みを構築することが課題であろうと考える。

【参考文献】

- 1) 国土交通省 HP ; <https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/ijikanri/pdf/h30-r2kanbotu.pdf>
- 2) 国土交通省北陸地方整備局北陸技術事務所 ; 空洞判定実施方針(案), 平成 2 年 3 月.