

## 第2回 下水道管路に起因する道路陥没



国土技術政策総合研究所 下水道研究室長 松宮洋介

## 1. はじめに

第2回目の講座では道路陥没を扱う。まず、昨年度（平成20年度）、自治体に対して国土交通省が行った道路陥没に係るアンケート調査結果について報告する。次に、道路陥没のメカニズムについて、文献調査に基づき報告する。続けて、いくつかの道路陥没の個別の事例について報告する。さらに、管路の維持管理の実施状況の全国的傾向を示す。最後に、まとめとして全体を通して考察する。

## 2. 平成20年度道路陥没全国アンケート調査の結果

国交省では、毎年、前年度発生した道路陥没件数を公表している。この件数集計に際し、様々な観点から陥没に関してのアンケート調査を自治体においている。ここで報告する道路陥没は19年度に発生したものである。19年度は全部で4769件の道路陥没が発生した。これら各陥没に対し、発生月日、道路種別（歩車道区分）、原因施設の布設年度、管種、本管・取り付け管の区別、管径、土被り、陥没の主たる原因、本復旧所要時間（日）、工事費用、通行止め状況等を尋ねた。なお、各アンケート項目に無回答の場合もあったので、下記のグラフ内の件数を全部足しても4769件にはならない場合もあることに留意頂きたい。

図-1に月ごとの発生件数を示す。なお、発見イコール発生としている。月平均で約400件の陥没が生じている。なかでも7、8月は800件以上発生しており、夏場に増える傾向がある。気温だけでなく降雨が影響していることが推察される。降雨の影響についてはメカニズムのところで述べる。気温が道路陥没に与える影響は、夏場に路面温度が上昇し、舗装強度が低下することが関係していると考えられる。

図-2、3に陥没が起きた道路の種別と歩車道の

区分を示す。市町村道（ $0.91 = 4267 / (4267 + 223 + 162 + 58)$ ）、車道（ $0.88 = 4085 / (4085 + 578)$ ）で約9割の件数が生じている。

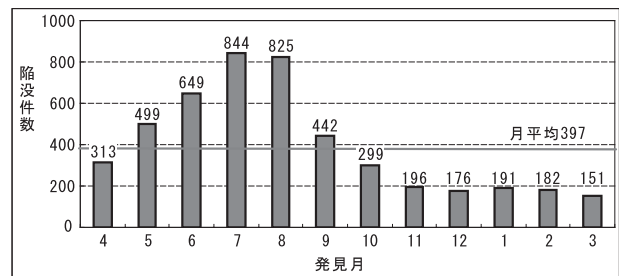


図-1 月ごとの道路陥没発生件数

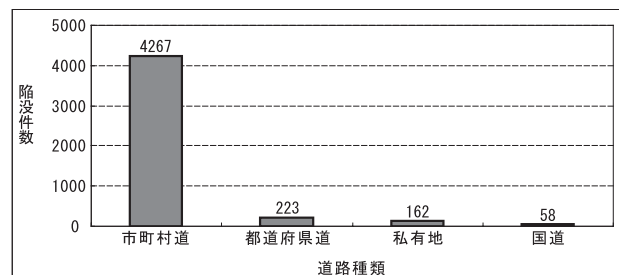


図-2 道路種別の陥没発生件数

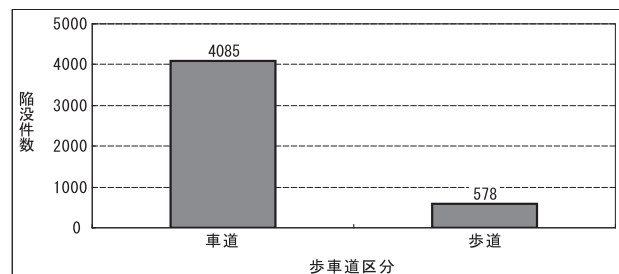


図-3 歩車道区分別の陥没発生件数

布設経過年数区分（5年毎）別の発生件数を図-4に示す。経過年数が長くなるほど陥没件数が増える傾向を示し、35～39年（1968年～1972年布設）の

管きよの陥没件数が最大となった。これ以降の経過年数区分の陥没件数は35～39年（1968年～1972年布設）より低くなった。ここでの陥没件数はあくまで実数であり、経過年数区分の管きよ延長当たりの陥没件数でないことに注意する必要がある。管きよ延長当たり件数は後述する。

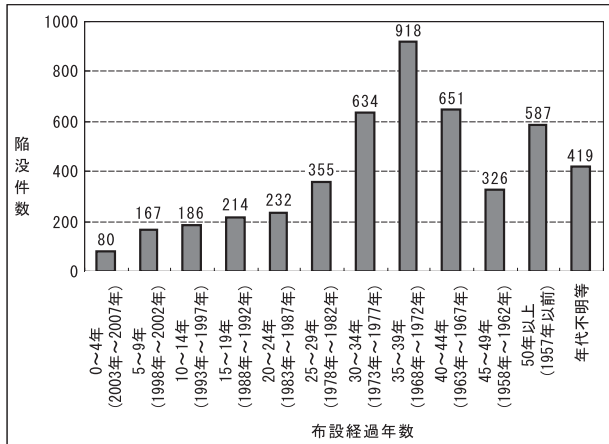


図-4 布設経過年数区分（5年毎）別の陥没発生件数

原因施設別の陥没件数を図-5に示す。取付管本体が原因となった陥没が全体の半分以上（ $0.52 = 2477 / (2477 + 848 + \dots + 7 + 2)$ ）を占めている。本管と取付管の接続部など取付管に関する陥没件数となると全体の約2/3（ $0.66 = (2477 + 370 + 238 + 33) / (2477 + 848 + \dots + 7 + 2)$ ）を占めている。陥没は取付管まわりが要注意であると言える。

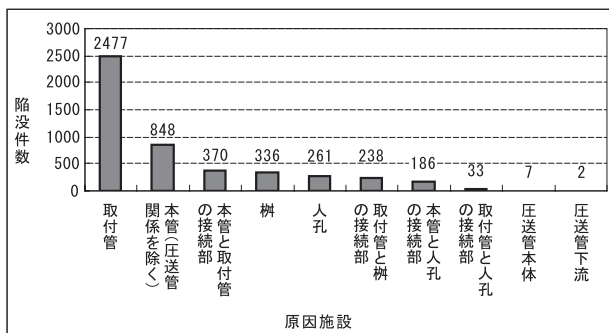


図-5 原因施設別の陥没発生件数

図-6に本管での管種別の陥没件数を示す。鉄筋コンクリート管が一番多く、陶管と硬質塩ビ管がほぼ同数で続いている。なお、本陥没件数は各管種の単位延長当たりの件数ではない。これについては後述する。

図-7に取付管の管種別陥没件数を示す。陶管の件数が2321件で最も多くなっており、主な管種別の

発生件数の割合は硬質塩ビ管を1とした場合に鉄筋コンクリート管が1.9(=501/260)、陶管は8.9(=2321/260)となった。

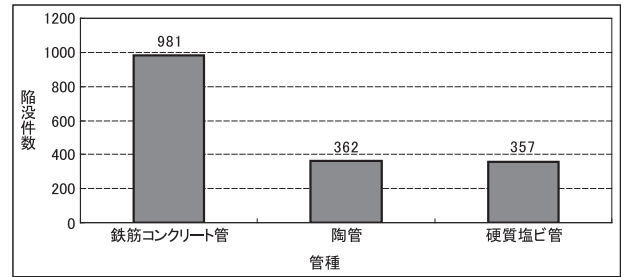


図-6 本管の管種別の陥没発生件数

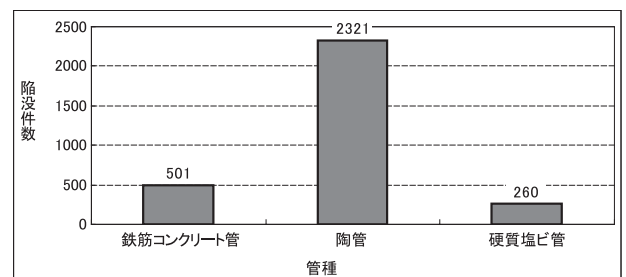


図-7 取付管の管種別の陥没発生件数

本管の管径クラス別の発生件数を図-8に示す。201～300mmの管径クラスでの陥没件数が最も多くなっている。

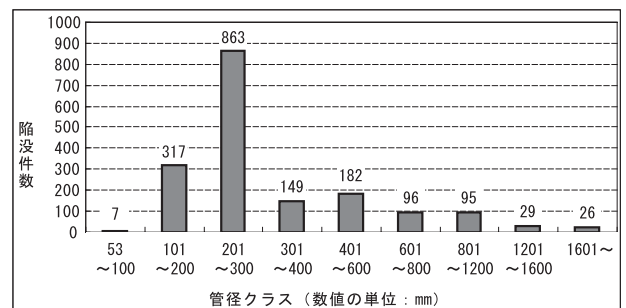


図-8 本管の管径クラス別の陥没発生件数

図-9に陥没の主たる原因別の発生件数を示す。管のずれ、接合不良が圧倒的に多い。

図-10に陥没の本復旧所要日数別の発生件数を示す。約半分の陥没（ $0.47 = 2228 / (2228 + 598 + 49 + 15)$ ）において、ごく短時間（1日以内）で本復旧が行われている。一方で30日を越えるものも15件あった。

図-11に復旧工事費用別の発生件数を示す。工事費用が50万円以下の小規模な陥没がほとんど（＝

(678 + 1979) / (678 + 1979 + 161 + 49 + 20 + 4) である。一方で1000万円を超える陥没も4件あった。

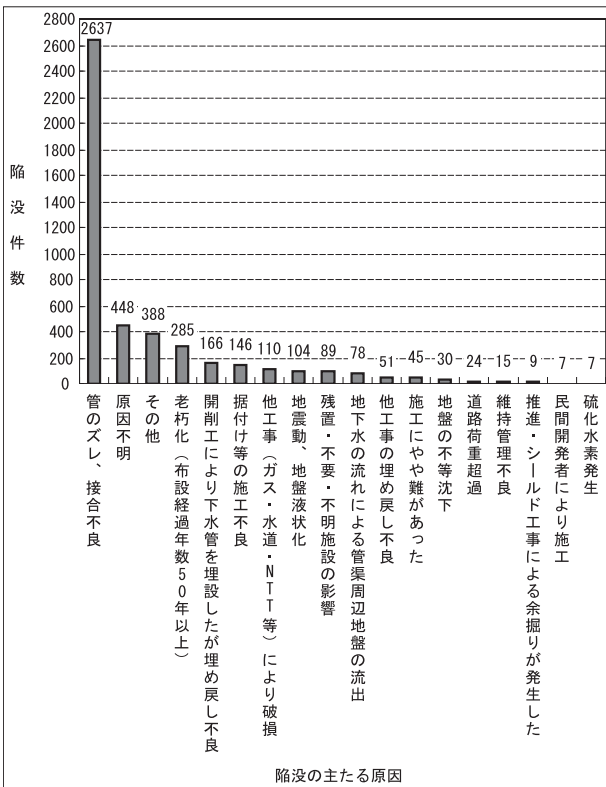


図-9 陥没の主たる原因別発生件数

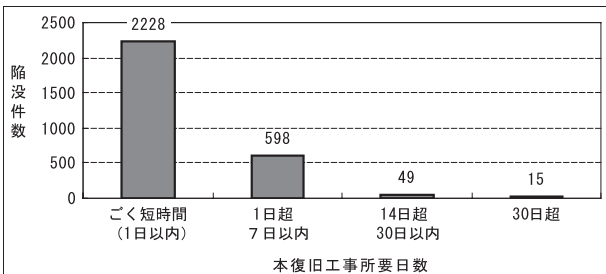


図-10 本復旧所要日数別の陥没発生件数

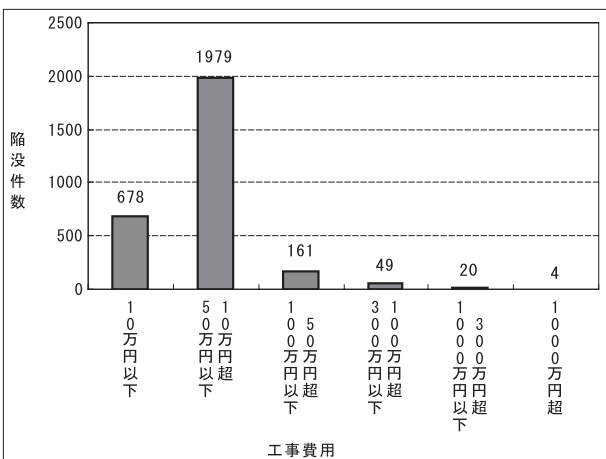


図-11 復旧工事費用別の発生件数

図-12に通行止め状況別の発生件数を示す。片側交互、片側、全面の順となった。片側交互、片側は全面通行止めの約2倍（2.2 = 1541/710）、約1.5倍（1.5 = 1043/710）の発生件数であった。

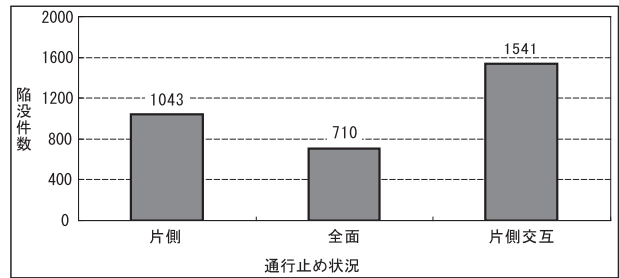


図-12 通行止め状況別の発生件数

図-13に土被り別の発生件数を示す。約7割（0.66 = 2373 / (477 + 2373 + 435 + 296)）が1～2mの土被りの管で生じた陥没であった。

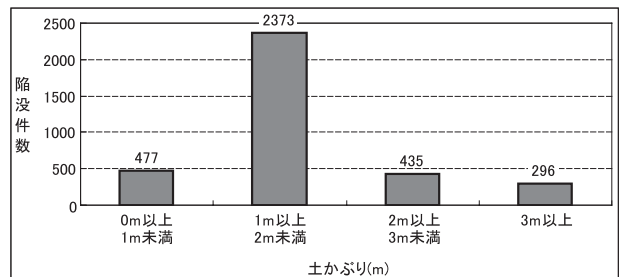


図-13 土被り別の発生件数

図-14に布設経過年区別の管きよ100km当りの陥没発生件数を示す。全体の平均が100km当り1.2件であるのに対し、25～29年の区分で1.1件、30～34年の区分で2.8件となり、30年経過した管きよでの陥没が急増することが確認できた。30年以降の区分では経過年数が増えるとともに100km当り陥没件数は増加している。

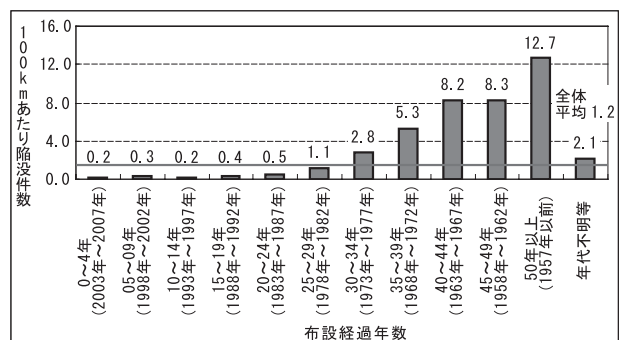


図-14 布設経過年区別の管きよ100km当りの陥没発生件数

図-15に主な管種別（陶管、コンクリート管、硬質塩ビ管）の本管100km当りの陥没発生件数を示す。硬質塩ビ管での発生頻度に対し、陶管およびコンクリート管の発生頻度は約7倍（ $6.5 = 1.23 / 0.19$ ）、約3倍（ $3.4 = 0.64 / 0.19$ ）となった。

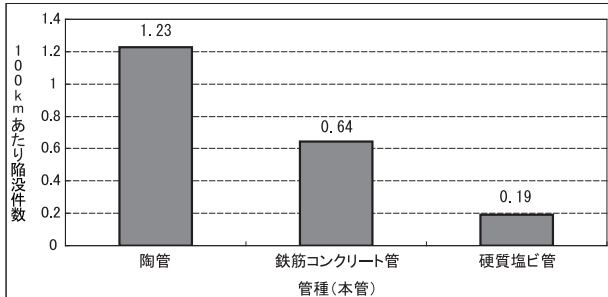


図-15 管種別の本管 100km 当りの陥没発生件数

### 3. 道路陥没メカニズム

道路陥没のメカニズムについて、国内2つの文献<sup>2) 3)</sup>と海外の1つの文献<sup>4)</sup>からメカニズムを紹介する。文献<sup>2)</sup>は綿密な実験と考察、さらにはわかりやすい解説図がある。本稿で紹介するのは論文のごく一部である。全文をWEBからダウンロードできるので参考にされたい。文献<sup>3)</sup>は地盤工学会での発表論文である。文献<sup>4)</sup>は英国のWRC（Water Research Center, 水環境関連のコンサルタント会社）発刊の管路の更生マニュアル内の記述である。文献<sup>4)</sup>は1984年が初版であり、現在第4版のものが発刊されている。WRCは「発刊以来25年間にわたり、英国および世界中で下水管の改築修繕を計画する際の重要な書籍である<sup>5)</sup>」としている。

文献<sup>2)</sup>ではまず、「下水管破損部への土砂の流出における降雨の影響としては、大まかにわけて以下の3つ①降雨浸透水の管渠内への流出にともなう土砂流出・②地下水位上昇による水の管渠内への流出にともなう土砂流出・③集中豪雨時の管内水の周辺地盤への流入・排出にともなう土砂流出が主に考えられる。どのプロセスも詳細については未だ不明な点が多く未だ概念的な状態である」としている。

①について、図-16を示し、「降雨が地表から浸透し下水管破損部に流入する過程で土砂が水と共に流出していくというプロセスである。しかしながら現在都市部においては地表面の多くが道路舗装をされているため降雨の浸透は発生しにくい可能性が高い」としている。

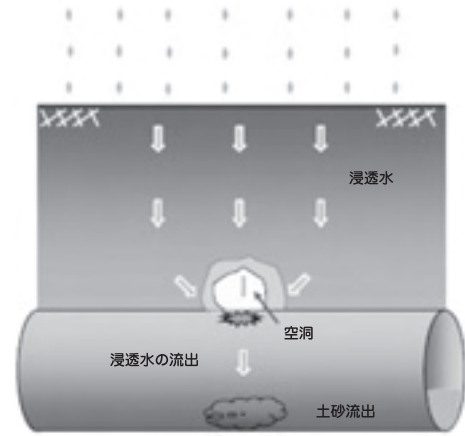


図-16 降雨浸透水による空洞形成メカニズム

②について、図-17を示し、「普段は埋設管の下に位置している地下水位が、降雨により上昇することで地盤の状態が不安定となり下水管破損部から流出していくというメカニズムである」としている。

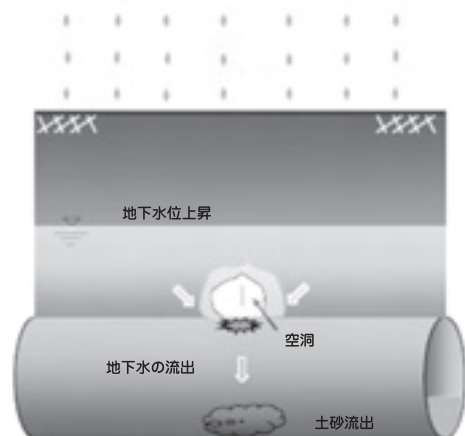


図-17 地下水位上昇による空洞形成メカニズム

③について、図-18を示し、「特に近年多発している都市部のゲリラ豪雨等集中豪雨時に下水管内の水が溢れ周囲に流入、降雨が治まるとともに水が流出するというメカニズムである」としている。

①の類似プロセスとして、水道等からの漏水が陥没を誘発している可能性がある。図-19は英国の教科書<sup>6)</sup>からのものである。水道や浅埋の下水道管からの漏水が、地下深くにある幹線へ流れ込み幹線周辺の地盤がゆるむ様子を模式的に示している。なお、下水管の絵はいずれもレンガ管を示している。

③のプロセスは雨天時に圧力管状態となる合流式下水道や分流式下水道の雨水管で生じやすいものと考えられる。一方、本管の老朽化や誤接合により雨天時不明水で圧力管になる汚水管でも生じると考えられる。



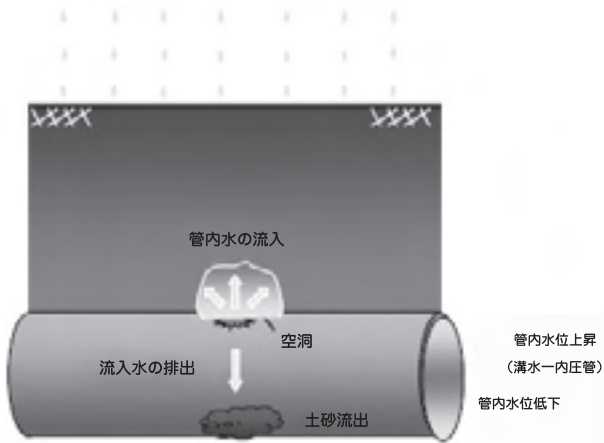


図-18 下水道管からの水の流出入の繰り返しによる空洞形成メカニズム



図-19 英国レンガ管崩壊メカニズムの概念図

文献<sup>2)</sup>ではさらに、図-20のような小型土層実験装置により、幅5mmのスリットから水の流入と流出を繰り返すことで地盤に起こる変化を観察している。これは③の現象の再現を行っているものと考えられる。

文献<sup>2)</sup>では、小型実験において、地盤材料や含水比、相対密度を変化させた様々な条件で地盤形状の変化を観測し排水量を計測することにより地盤変形・空洞形成をもたらす要因を考察した結果を図-21～24で示している。「図-21、24は初期段階から、図22、23はある程度のサイクルの進展で発生するようになる。サイクルが進むにつれて地盤全体が不安定となり図-21～24の現象による影響がより大きくなっていく」としている。

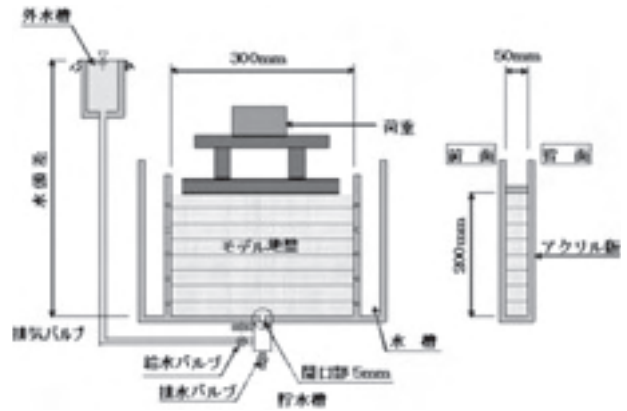


図-20 小型土層実験装置

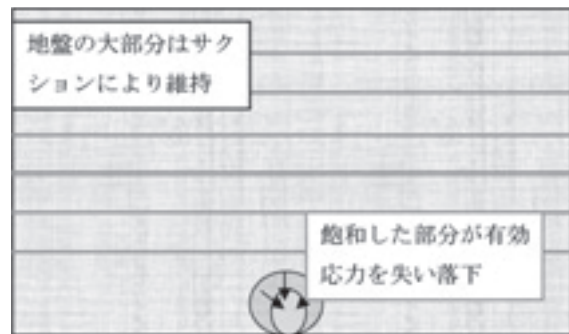


図-21 飽和土が間隙水圧の上昇により有効応力を失って落下

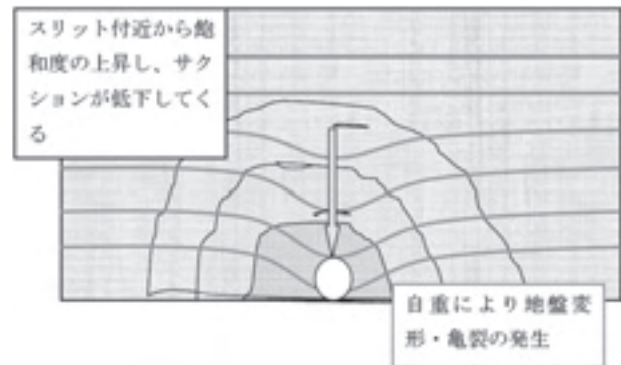


図-22 給排水の繰り返しでサクシオンの低下による周辺地盤の不安定化

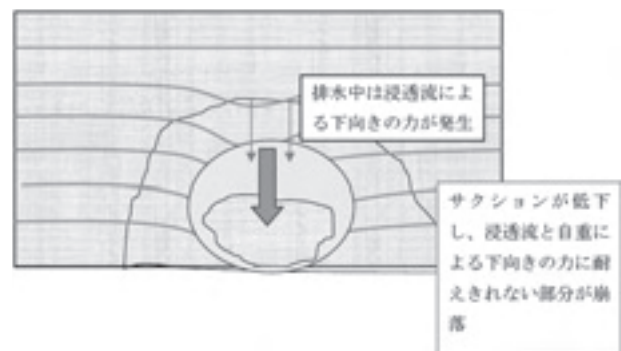


図-23 地盤の崩落

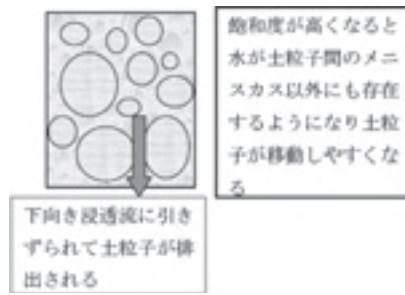


図-24 細粒分の流出

文献<sup>3)</sup>では、X線CTスキャナを用いた実験（装置：図-25）により、管軸および管周方向に5mmのクラック等不具合が生じた下水管周辺地盤に発生するゆるみ領域を三次元的に可視化している。管軸方向の不具合の場合は、「管模型上方へ楕円状にゆるみが進展している」（図-26）。管周方向の不具合の場合は、「土層下端の開口部両側から同心円状にふたつのゆるみが拡大し、合わさっている」（図-27）。

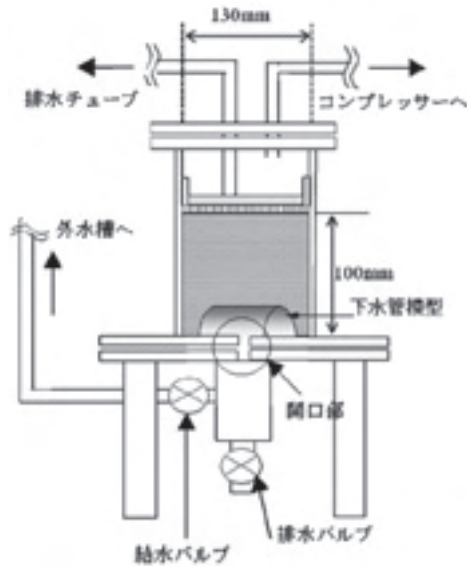


図-25 模型実験模式図

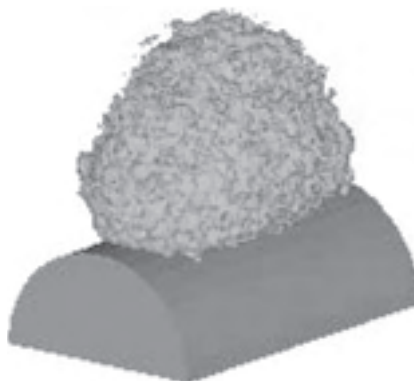


図-26 管軸方向破損密度低下領域・空洞領域

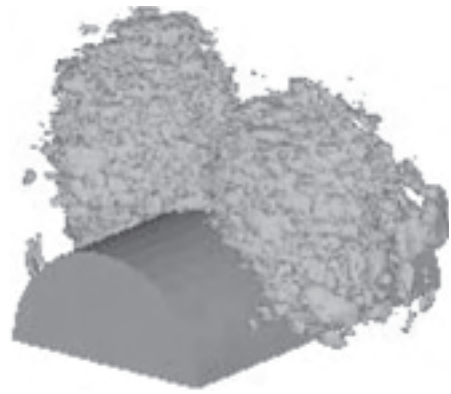


図-27 管周方向破損密度低下・空洞領域

文献<sup>4)</sup>では、図-28～30を示し、管路への不具合発生から、地盤のゆるみと空洞形成へとつながるメカニズムを説明している。図-28の不具合発生第一段階として、「管の継ぎ手や取り付け管の接合不良により、浸入水が発生する」としている。図-29の第二段階は、「地下水浸入、満管時の下水の浸出、浸入により、周辺地盤材料が管内に吸い込まれる。周辺地盤の支持力を失い、管が動き、接合部の不具合がひどくなる。これにより、周辺地盤材料の管内に吸い込まれる量も増える」である。図-30の第三段階は、「不均等な荷重により、管接合部の脱却が生じ、管体にひびわれ発生。管断面が変形し、破損発生、たわみ、蛇行が発生。カメラ車が走行不能になる。管内への周辺地盤材料吸い込みにより、空洞、ゆるみが拡大する」である。

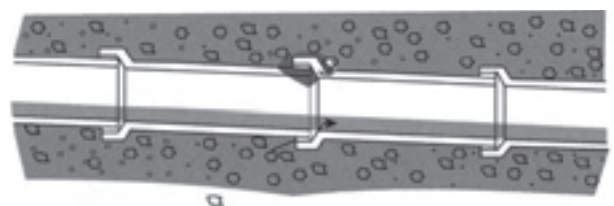


図-28 陥没発生メカニズム（第一段階）

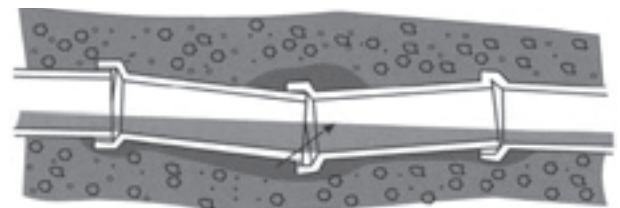


図-29 陥没発生メカニズム（第二段階）

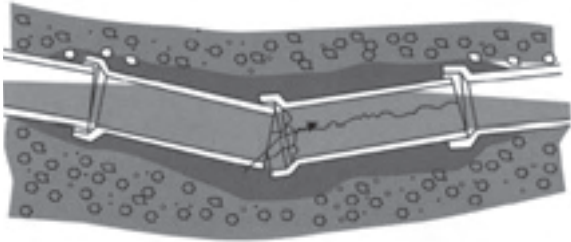


図-30 陥没発生メカニズム（第三段階）

#### 4. 国内の道路陥没事例

国内の道路陥没事例から特徴的なものをいくつか紹介する。なお、ここで紹介するケースは2.で紹介した20年度調査（19年度発生）のものとは限らない。また、自治体名が特定されないよう配慮している。

1件目は圧送管に起因するコンクリート管の硫化水素腐食による道路陥没である。陥没時の管内の状況および復旧工事の様子を図-31に示す。圧送管による硫化水素発生→管腐食→破損→道路陥没の件数は少ない。たとえば図-5の原因施設別の発生件数を見ても、圧送管下流は2件しかない。しかし、比較的大きな管が腐食、破損するので陥没の規模は大きくなる傾向がある。本陥没の概要を図-32に示す。本件の特徴は、圧送管の下流といっても400mも下流の4スパン目で生じたことである。3スパン目と4スパン目のマンホールには落差が60cmあり、これにより既に発生していた汚水中の硫化水素が放散され、陥没の原因となったと考えられる。

2件目について、まずマスコミの報道記事を示す。  
 「『〇〇市で下水管破損し地盤沈下最大30センチ、道路や家屋に亀裂』

〇〇市は21日、同市××の県道地下に埋設した下水管が破損し、一帯で最大30センチ程度の地盤沈下が生じていると発表した。道路や家屋にも亀裂が生じており、〇〇市は22日から沈下防止の地盤補強と下水管の補修作業に入る。市下水道保全課によると、△△小（同所）の南約10メートルの県道□□線と市道の交差点付近で、直径30メートルの範囲の地盤が数センチ—30センチ程度が沈下している。県、市道のほか、駐車場、民家や工場のコンクリート基礎部分に亀裂が確認された」。

図-33に本陥没の概要を示す。本件の特徴はシールド工法により布設された管が供用中に陥没を引き起こしたことである。これらのシールド工法や推進工法は工事中に掘削機による余掘りにより、陥没を

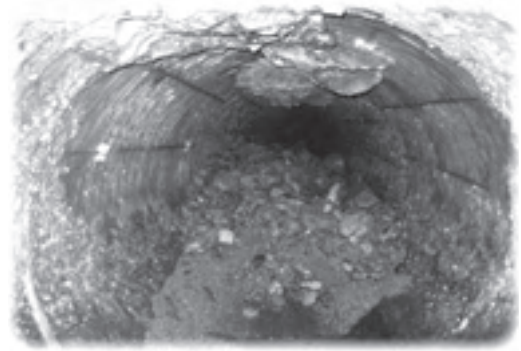


図-31 陥没時の管内の状況および復旧工事の様子（事例1）

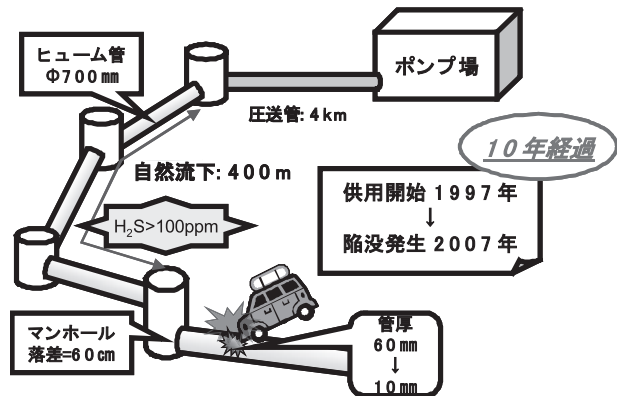


図-32 陥没概要（事例1）

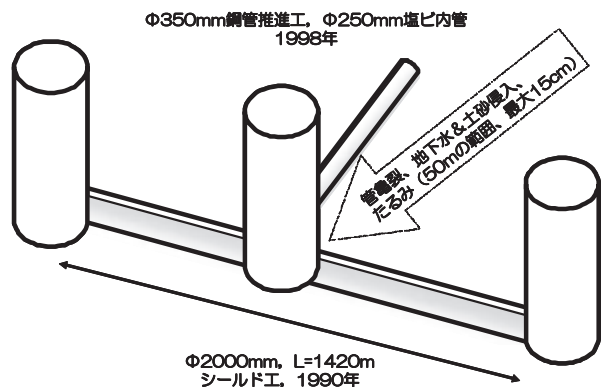


図-33 陥没概要（事例2）



引き起こすことはしばしばある。図-9の陥没の主たる原因別の発生件数でも9件が報告されている。しかし、供用中のものが陥没を起こした例を筆者は知らない。日本で初めてのケースと思われる。本件も基本的には管の接合部（人孔とシールド管）の不具合（亀裂）が起因している。地下水とともに周辺の地盤（砂）を管内に引き込んで陥没を起こしている。

3件目の陥没（図-34）は、人身事故（けが）に繋がった陥没である。1986年布設、土被り1.7m、内径250mmのヒューム管が腐食により破損し陥没したとのことである。腐食であるが圧送管とは関係していない。この陥没を経験した自治体は、本陥没が初めての陥没であった。ちなみに2.で示した19年度に発生した4769件の道路陥没のうち人身事故につながったのは本件と次の1件の計2件である。



図-34 陥没事故（事例3）

本件（図-35）は人身事故につながったとはいえ、陥没の大きさはかなり小さい。舗装ブロックが少し沈んだ程度である。取り付け管（陶管）が破損して上部の砂を引き込んだことが原因である。自転車に乗っていた主婦が転倒したとのことである。

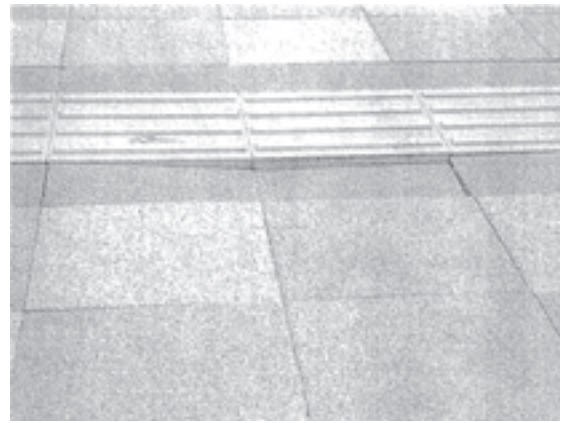


図-35 陥没事故（事例4）

## 5. 管路の維持管理実施状況

2.～4.まで道路陥没について様々な角度から紹介した。では肝心の陥没を防ぐための取り組みはどのようなものか？ 最も基本的な管路の維持管理である点検・調査の実施はどうか？ 平成19年度に国土交通省で調べた維持管理の実態（平成18年度の実施状況）を示す。

18年度に管路施設を有する全自治体（のべ1495団体）にアンケートし、集計した結果を表-1に示す。

表-1中の％は18年度の全国の管路の総延長（約40万km）に対する各点検・調査の延長の割合である。また表-2に用語の定義を示す。表-1の集計に当たっては、潜行目視調査とTVカメラ調査は基本的に対象管径が異なるが同じレベルの詳細な調査として、まとめて集計している。

下水道維持管理指針<sup>7)</sup>ではマンホール・管内調査の周期の例として、表-3が掲載されている。現状では全国平均で見るとマンホール内目視が50年（=100/2）に1回、潜行目視とTVカメラ調査の合算で100年（=100/1）に1回のペースとなっており、例とはいえ指針の頻度に比べ著しく少ない。



表－1 維持管理の実態（全国平均）

	延長	割合
巡視・点検	25,205km	6%
マンホール内目視	6,809km	2%
潜行目視・TVカメラ調査	4,105km	1%

表－2 用語の定義

巡視・点検	管路施設が埋設された道路の状態（本管および取付管埋設位置での路面の状態）・マンホールのふたの状態・マンホールの内面およびマンホールから目視できる範囲の管面や堆積物あるいは下水の流下状況を観察することによって、地上から管路施設の状態を把握するための調査
マンホール内目視調査	原則としてマンホール内に調査職員が入り、マンホール内面およびマンホールからライト、鏡等による管路内の目視点検を行い、可視範囲で直接、管路施設の状態を把握するための調査。また、マンホール内に調査員が入れない場合等に、伸縮可能な操作棒の先にカメラとライトを取り付けた簡易カメラを用いて、地上からマンホール内面および管路内の点検を行い、管路施設の状態を把握するための簡易カメラ調査もこれに含む
潜行目視調査	潜行目視調査とは、内径800mm以上の管きよで歩行可能であれば、調査員が管きよ内を歩行して、管きよの劣化状況等を定性的に把握するための調査
テレビカメラ調査	下水道管きよ用TVカメラを用いて、地上からの遠隔操作により間接的に管きよ内の劣化状況などを把握するための調査。内径150～800mm未満を原則とするが、内径800mm以上の管きよで流量が多い場合や危険ガスが予想される場所など、調査員が管きよ内に入ることができない管路にも用いる

表－3 維持管理指針におけるマンホール・管内調査の周期の例

	実施場所	使用開始後経過年	実施周期	備考
マンホール内目視調査	マンホール内および上下流管きよ	0～30年	5年に1回	
		30年以上	3年に1回	
潜行目視調査	内径800mm以上	0～30年	10年に1回	取付管含む
		30年以上	7年に1回	取付管含む
テレビカメラ調査	内径800mm未満	0～30年	10年に1回	取付管含む
		30年以上	7年に1回	取付管含む

維持管理の頻度と自治体数の関係を見ると（図－36～38）、巡視・点検では676団体（45%＝676/1495）、マンホール内目視では1161団体（28%＝1161/1495）、潜行目視・テレビカメラ調査では963団体（64%＝963/1495）が全く実施していない。

## 6. まとめ

道路陥没の発生原因としては、管のずれ、接合不良が圧倒的に多い。管のずれ、接合不良は直接的な陥没原因となるだけでなく、道路陥没メカニズムにあるようにクラック、破損、たるみなどの他の不具合の発生原因ともなるので、早期発見と確実な対処（改築・修繕）が求められる。

大きな陥没は多量の土砂を管内に引き込むので、マンホール内目視で予兆を発見することが可能であろう。しかし、マンホール内目視の実施率は全国平均で年間2%にしか過ぎず、十分とは言えない。陥没の具体的事例で示したように、比較的経過年数の短い管きよや陥没の発生が想定されなかったシールド工事による管きよでも陥没が発生している。初めての陥没が人身事故となってしまった自治体（事例3）では、事故を契機にマンホール内目視を徹底して実施しているとのことであった。事故を経験していない自治体においても本事例を参考に取り組んで頂きたい。

潜行目視・TVカメラ調査にいたっては年間1%の

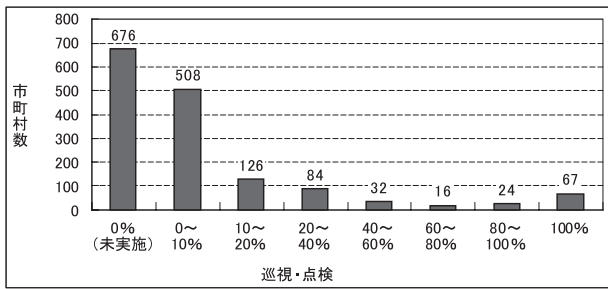


図-36 巡視・点検の年間頻度別自治体数

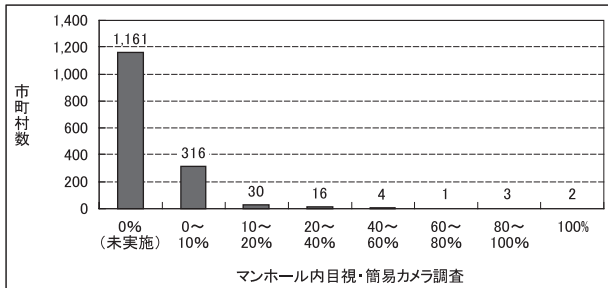


図-37 マンホール内目視の年間頻度別自治体数

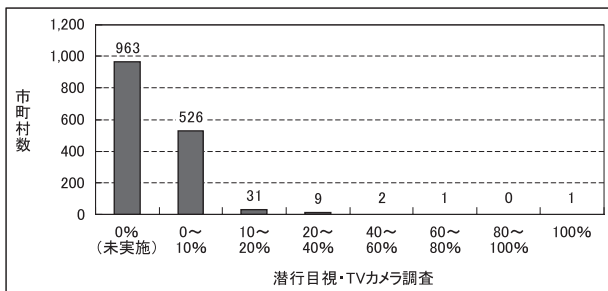


図-38 潜行目視およびTVカメラ調査の年間頻度別自治体数

実施率である。いくつかの自治体からヒアリングしたところ、①テレカメ調査を定期的を実施するのは費用的に困難である、②膨大な管路資産に対し、どこから調査していいか決められない、③調査を実施したくても流量が多すぎてできない（幹線）との話があった。

①の問題に対処するために、いくつかの自治体では簡易カメラを詳細カメラのスクリーニングとして実施している<sup>8) 9)</sup>。予算不足でTVカメラ調査が未実施の団体におかれては是非、参考頂きたい。②については、次回以降に管路のストックマネジメントとして手法を示す。③について、いくつかの機器が世に出ている<sup>10) 11)</sup>。これら機器の性能確認と普及が待たれるところである。

いずれにせよ点検調査は道路陥没のみならず詰まり、溢水、浸入水、悪臭など管路の不具合に起因するあらゆる問題を未然に防ぐためにも欠かせない。合理的な点検調査計画を立てることこそが、ストックマネジメントの出発点と考えている。

## 7. おわりに

前稿が出版された後、ある読者から「読み物としておもしろかった。次回はストックマネジメントを進めるためのハウ（HOW、具体的方法）を是非示して欲しい」と言われた。残念ながら今回も具体的方法を示していない。しかし、今回は道路陥没および維持管理に係る様々な客観的データを紹介し、考察することにより目指す方向性は示したつもりである。この方向性に沿って次回は具体的方法を示す。

### 〈参考文献〉

- 1) 下水道設計指針（前編）2001年版、p217、(社)日本下水道協会
- 2) 佐藤真理（2009）、道路陥没未然防止のための地盤内空洞・ゆるみの探知に関する基礎的検討、東京大学卒業論文、<http://geo.iis.u-tokyo.ac.jp/material/documents/msatoBAtesis.pdf>（平成21年10月末現在）
- 3) 野中茂他、X線CTを用いた破損形状の違いによる管渠周辺地盤のゆるみ領域の評価、第41回地盤工学研究発表会、2006年7月
- 4) Sewerage Rehabilitation Manual 4th Edition Book, ISBN : 9781898920397, WRC, 2001
- 5) <http://srm.wrcplc.co.uk/index.php>（平成21年10月末現在）
- 6) Geoffrey F Read, Sewers Rehabilitation and New Construction, p50, ISBN : 0470235640, ARNOLD
- 7) 下水道維持管理指針（前編）2003年版、p107、(社)日本下水道協会
- 8) 札幌市 下水道管路の老朽化対策の現状と管路更生の考え方、p11、管路更生 No.12、一般社団法人 日本管路更生工法品質確保協会、2009年10月
- 9) 榎原正美、横須賀市における下水道管路施設の長寿命化対策、p50、下水道協会誌Vol.46 No.562、(社)日本下水道協会、2009年8月
- 10) 大口径管TVカメラ調査（ビーバーシステム）、[http://www.kansei-pipe.co.jp/2\\_5.html](http://www.kansei-pipe.co.jp/2_5.html)（平成21年10月末現在）
- 11) 水路トンネル内面調査ロボット、<http://www.fukken.co.jp/download/pdf/3-19-01.pdf>