

第 1 部

なぜ水道管の更新と耐震化が必要なのか

1.1 はじめに

玉川上水などかつて作られた水道は、上流の水源から開水路によって低地に水を運ぶ「自然流下式」の水路による水道であった。しかし、明治に入ってコレラや赤痢などの水を介した感染症の対策として、清澄な水源から汚染を受けにくい鉄製の水道管によって浄水場まで水を運び、砂ろ過による浄水処理した水を同じく鉄製の配水管により利用者に供給する近代水道が布設されるようになった。わが国初の近代水道は、明治20年（1887年）に横浜に布設され、それ以降、全国の都市に近代水道が広まっていった。

しかし、国内に水道が本格的に普及したのは、昭和32年の水道法制定をきっかけとした高度経済成長期以降である。水道法は、市町村が水道事業を担うものとし、国は水道普及率100%を目指して財政制度を整えるとともに、日本水道協会が設計指針などを整備したことにより水道の普及が加速した。これらの尽力により、令和5年（2023年）度末の水道普及率は98.2%となり、世界的にも極めて高い普及率となった。わが国では、ほぼ全ての国民が、水道法に基づいて水質検査を受けた安全な水を、必要なだけ利用できるようになり、国民が必要とする基本的なサービスとして高い水準の水道水を供給している。

しかし、かつての高度経済成長期に建設した水道施設は徐々に老朽化し、水道管や浄水場などの水道施設が更新時期を迎えている。さらに近年は自然災害が多発し、特に地震による水道施設の被害が数多く報告されており、断水により市民生活に大きな影響を与えている。このようなことから、老朽化対策と耐震化を目的として、水道施設の更新が必要となっている。なかでも、地震災害の恐れから、耐震化されていない水道管は早急に耐震化する必要がある。

しかし、平成の約30年間は、日本経済の成長がとまりデフレが続いたことから水道料金を据え置いた水道事業者が多く、水道事業の経営状況が悪化している。そのため、全国的に水道管の更新率が年々低下し、「水道の危機」を招いている。令和3年（2021年）の和歌山市における^{むそた}六十谷水管橋の落橋をはじめ、

近年多発する水道管路の事故は、あらためて水道が市民生活を根底から支えていることを知らしめるきっかけとなった。このような背景のもとに、水道事業における水道施設、特に水道管の老朽化の問題と耐震化の重要性についてわかりやすく解説するとともに、管路更新の必要性について理解を深めることを目的として本書を編集・執筆した。さらに、水道事業体や企業による管路更新の事例を示すことで、読者とともには水道の危機を乗り越えるための方策を考えてゆきたい。

1.2 水道施設の老朽化問題

1.2.1 水道施設の老朽化

日本の水道管の総延長は約74万kmに及び、そのほとんどが戦後の高度経済成長期に布設されたものである。このうち令和4年（2022年）3月に法定耐用年数の40年を超過した水道管の延長は約17万km（23%）であった。また、40年を超過する水道管延長は、令和14年（2032年）には約30万km（41%）、令和24年には約49万km（約66%）に達すると推定されている¹⁾。法定耐用年数とは、水道の資産管理のために定められた耐用年数であり、40年を超えた水道管が直ちに漏水などの事故を起こすものではないが、老朽管の割合が高まれば、漏水事故の発生率や地震などによる被害率が上昇することは確実である。このため、老朽化した水道管を着実に更新してゆく必要がある。

全国の水道事業のうち、給水人口が5,000人を超える上水道事業は、地方公営企業法に基づいて水道事業管理者を置き、企業会計制度に基づいて、水道料金収入による事業経営を行っている。このため、水道施設を計画的に更新するためには、健全な経営のもとになる水道料金を定期的に精査し、適切な水準に改定する必要がある。

図1-1に、日本の各地方の平均水道料金と料金回収率、及び水道施設の耐震化率を示す。ここで、料金回収率とは、水道料金収入から算出した供給単価を、水道水給水に要する費用から算出した給水原価で除した割合（%）で、水道料金に基づいて水道事業を運営するためには料金回収率を100%以上とすることが目標となっている。水道管や浄水場、配水池などを更新して耐震化するためには、大きな投資が必要である。そのためには、料金回収率を100%以上として健全な事業経営を行うことが重要である。

令和6年(2024年)に国土交通省が公表した「水道カルテ」²⁾によると、全国の水道事業体の料金回収率は、令和4年時点で平均99%である。しかし、これはあくまでも平均値であり、実際には個別の水道事業体で料金回収率のばらつきが大きい。図1-1をみると、全国の各地方の料金回収率は平均100%を超えている地方が多いものの、中国地方(95%)や関東地方(99%)は100%未満である。一方、水道料金は、北海道及び東北地方で平均4,000円以上と高いが、関東、北陸・甲信越、関西及び四国地方では3,000円程度と低く、さらに中部地方は2,630円と最も低い。このように水道料金は地方ごとに違いがあり、各地方の人口や水源の状況が影響していることが考えられる。

これに対して水道施設のうち大口径管である基幹管路の耐震適合率は、関東地方が54%と最も高く、北海道、東北、北陸・甲信越、中部、関西地方が40%台であるのに対して、中国、四国、九州・沖縄地方は31~33%と低い。浄水施設の耐震化率は、中部地方で62%と最も高く、北海道で22%と最も低い。また、配水池の耐震化率も中部地方で75%と最も高く、次いで四国、関西、関東地方が高い。これらのことから、人口が多い関東、中部、関西地方は、水道料金が比較的安く、他の地方と比べて耐震化率が高い。一方で、北海道と東北地方は、水量料金が高く、今後の水道施設更新を継続するためには、財源の確保が課題となっている。また、中国、四国、九州・沖縄地方は、水道料金は全国平均の3,332円に近いが、基幹管路の耐震適合率が他の地方と比べて低いため、今後、基幹管路の耐震化を加速する必要がある。

水道事業では、人口密度が高い都市では、管路延長あたりの利用者が多く、より多くの水道料金を収受できるので、施設効率が高い水道事業経営が可能である。反対に、人口密度が低い都市では、施設の利用効率が低下し、水道料金が高くなる傾向にあると考えられる。これを検証するため、図1-2に全国の都道府県の人口密度と水道料金の関係を示す。ただし水道の給水区域は比較的人口が多い地域であるため、都道府県単位の人口密度は代替指標である点に注意が必要である。図1-2は、全体的には右下がりの傾向を示しており、特に東京都、神奈川県、埼玉県、愛知県、大阪府などの大都市圏は、人口密度が高く水道料金が低い。一方、千葉県や福岡県は人口密度が高いものの、水源に乏しく水源開発費用を要するため水道料金が低い。人口密度1,000人/km²以下の府県では、全体の回帰直線の上下に広く分布している。北海道と東北の各県で

は水道料金が高く、反対に、静岡、群馬、山梨、高知など、比較的水源に恵まれた地域では水道料金が低い。これらの地域では、今後、水道料金の改定により水道施設の更新を加速する可能性がある。

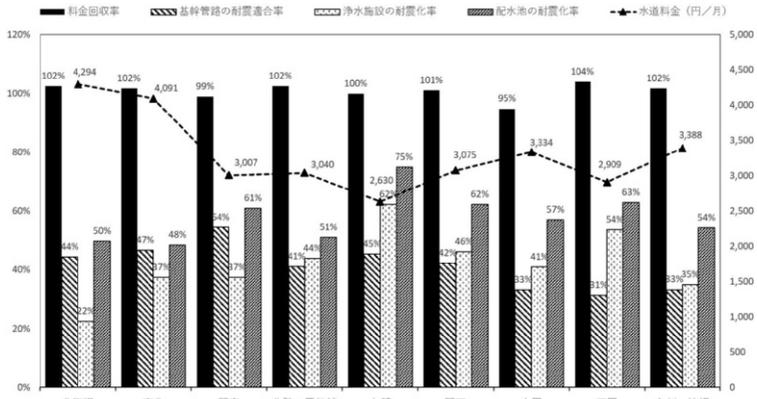


図1-1 地方ごとの水道料金と料金回収率、及び水道施設の耐震化率²⁾

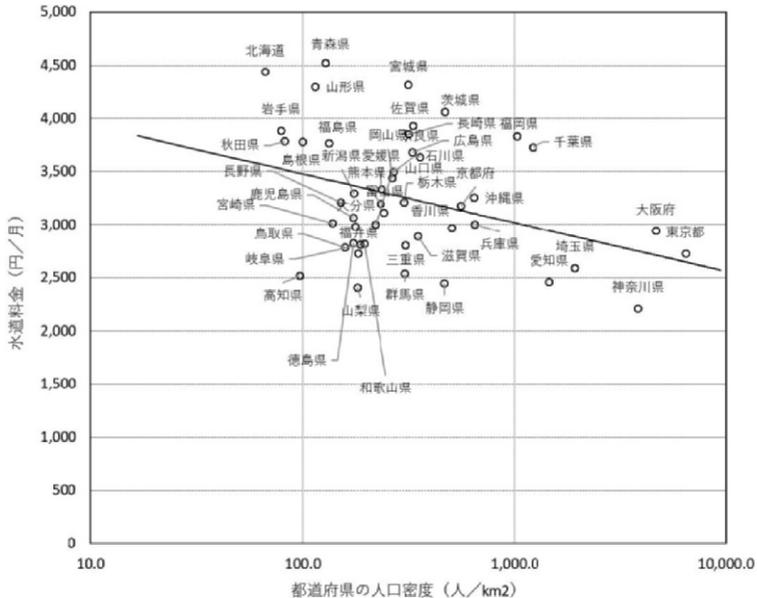


図1-2 都道府県ごとの人口密度と水道料金²⁾

1.2.2 水道管の老朽化による有効率の減少³⁾

水道事業において、家庭などで利用された水量に、公園や消防用水の水量を加えた水量を有効水量といい、浄水場や配水池からの配水量に対する有効水量の割合を有効率という。一般に、有効率が高い水道は漏水率が低いと考えられることから、有効率の経年変化から、水道管路の老朽化による漏水率への影響を調べた。図1-3は、平成5年～15年の10年間と、平成15年～25年の各10年間に於ける有効率の増減(%)を示す。図1-3(a)は、全国の有効率が低い水道事業体から高い事業体を順にならべて、それぞれの有効率の変化を示している。これによると、平成5年から15年にかけては全ての水道事業体で有効率が上昇したが、平成15年から25年にかけてはおよそ半分の水道事業体で有効率が低下した。図1-3(b)は、比較対象とする10年間の最初の年を基準年として、基準年の有効率ごとに、10年後の有効率の変化を示している。同図によると、平成15年の有効率が90%以上と高い水道事業体は引き続き高い有効率を維持しているものの、有効率90%未満の水道事業体は、有効率が低下しており、漏水量が増加したと考えられる。この結果から、日本の水道事業体は平成15年ごろを境に、漏水量の増加を抑えて高い有効率を維持している水道事業体と、漏水量が徐々に増えている事業体との二極化が進んでいることがわかる。

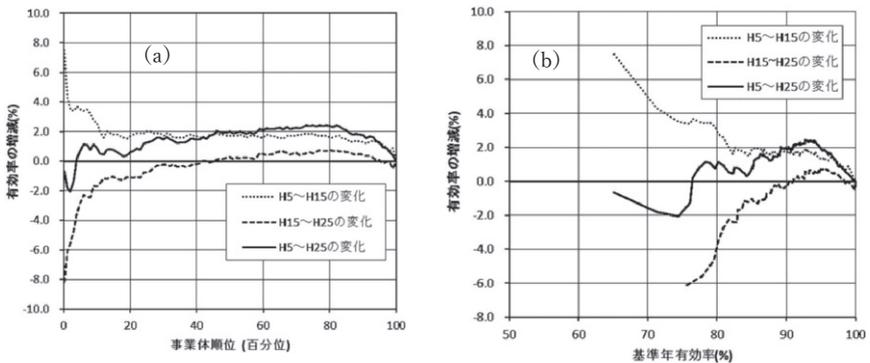


図1-3 全国水道事業体の有効率の変化率(平成5～15年、15～25年)
(a): 事業体順位ごと、(b): 基準年有効率ごと³⁾

1.3 将来のリスク

1.3.1 老朽化が進む海外の都市の水道

水道の配水管に鉄管を用いた近代水道の歴史は、日本よりも、ヨーロッパやアメリカの都市の方が古い。しかし、ヨーロッパやアメリカの多くの都市では、これまで老朽化した水道管が更新されず、大規模な漏水事故や、水道水質の悪化を起こしている。例えば、アメリカのニューヨーク市では、水道管の漏水により地下鉄の駅が冠水し、地下鉄の運転が止まるという事故が起きている。カナダのモントリオールでは、水道管の漏水事故が多発し、中には自動車が冠水して流されるほどの事故も起きている。アメリカのロスアンジェルスでは、漏水事故の発生頻度が、周辺地域の住宅価格に影響しているといわれている。アイルランドの首都ダブリンでは、水道水質が悪化し、水道水から大腸菌が検出されるようになった。

このように水道施設の老朽化の影響が深刻な都市は、他の都市に比べて、市民が水道料金の支払いにより水道事業を支えようとする意識が低く、そのため水道料金が低く抑えられているか、ダブリンのように水道料金の支払いを拒む市民が多い。これらの事例から、水道料金を適正な水準として、市民が水道を支えるという考えを浸透することが重要である。

1.3.2 大規模事故による都市機能と市民生活への影響

日本でも水道管の老朽化による事故が増えており、断水や濁水により市民生活に影響を及ぼしている。このうち、和歌山市の六十谷水管橋の崩落事故はマスコミでも大きく取り上げられ、全国の水管橋の緊急点検が行われた。上記のような海外の都市を参考にすると、日本の水道も、老朽化を食い止め、耐震化率を高めないと、水道管の老朽化による漏水事故により、市民生活が影響を受ける事例が増加することが考えられる。

1.4 水道施設の強靱化にむけた方策

1.4.1 水道事業の経営改善

地方公営企業である水道事業体は、現在及び将来の水道利用者が支払う水道

料金によって施設の更新を行うこととなっている。しかし、節水型社会の到来と人口減少により、ほとんどの水道事業体で料金収入が減少しつつある。一方で、デフレ経済であった平成の約30年間は水道料金の値上げを見送り、人件費などのコスト削減により事業収支を保ってきた水道事業体が多い。しかしコスト削減も限界となっていることから、令和に入って水道料金を値上げする水道事業体が増えている。水道料金の見直しにおいては、所得の低い人への配慮が必要であるが、水道施設の更新を加速するためには、4～5年ごとに適正な料金水準へと見直しが必要である。さらに、全ての国民の安心・安全を支える水道施設を耐震化し、いざというときに備えるためには、国土強靱化計画に沿って、国からの支援も必要となっている。

1.4.2 新しい技術的な取り組み

(1) 水道管の老朽化予測^{4)、5)}

地中に埋設された水道管の老朽化(劣化)速度は、周辺の土質や地下水水位などにより大きな違いがある。このため、水道管の老朽化速度を予測する試みが行われてきた。今後は、新技術やAIなどを活用した劣化予測手法が発展することが期待されている。

(2) 配水管網のブロック化と流量・水圧センサの活用

かつて日本の水道管路は、浄水場や配水池から水道利用者に向けて樹枝状に布設されていることが多かった。しかし、地震による断水の経験や、配水圧力のコントロールの必要性から、配水区域を複数の区域(ブロック)に分けて、他の配水区域とバルブなどで仕切る配水管のブロック化が進められてきた。配水管網をブロック化することの利点の一つは、ブロックごとに水圧を制御しやすいことにあり、配水ブロックを「高区」「低区」などに分けて、それぞれのブロックの標高により適した水圧となるように配水圧を制御している。さらに、地震災害や大規模漏水事故が発生した場合は、その影響が他の配水ブロックに及ばないように制御できる。近年は、各配水ブロックに、流量や水圧センサを設置することで、各ブロック内での流量・水圧の変動から、漏水の有無を検知する試みが行われている(第2部盛岡市、横浜市、福岡市等を参照)。

(3) 漏水検知

従来の漏水探知は、音聴棒といわれる鉄の棒の先端を給水栓や水道メーターに当て、反対の端を耳に当てて人が漏水音を聞く方式がとられてきた。この方法は、単純であるものの、経験を積んだ調査担当者が必要であることや、調査者によって漏水の判断が異なることなどの問題が指摘されてきた。さらに、近年は人手不足から漏水検査業務につく人も減っており、今後は音聴棒による漏水検査が継続できるかどうか危ぶまれている。そこで、近年は、各種の漏水センサが開発され、漏水音をAIにより解析するなど、人によらない漏水検知方法が開発されつつある。

(4) 新技術の活用

従来の技術に加えて、近年は漏水探知のために、衛星データを利用し、さらにデータの解析にAIを利用するが提案されている。国内の水道事業者では、これらの新技術の検証に取り組んでおり、近い将来、これらの新技術が漏水探知率の向上に役立つことが期待されている。

1.5 | まとめ

水道は、人々の安全・安心な暮らしを支える最も重要な社会インフラである。しかし、布設から長い年月がたち水道施設の老朽化が進み、漏水事故の増加や地震災害による破損などが生じており、水道の危機に直面している。耐震性が低い水道管もいまだに多く使用されており、これらは順次更新する必要があるが、水道管の更新には多くの財源と長い期間が必要となる。このため、国民の毎日の生活を支える水道の重要性にかんがみて、国による適切な支援と、各水道事業者は適切な水道料金の水準を定め、国と受益者が協力して国民の健康な生活を守る必要がある。

<引用・参考文献>

- 1) 国土交通省：上下水道政策の基本的なあり方検討会（第1回）資料、2024.
- 2) 国土交通省：水道カルテ（2024年、令和6年）をもとに作成
https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000919.html

- 3) 西村智之、滝沢 智、小熊久美子、橋本崇史、酒井宏治：全国の水道事業者における有効率の経年変化と無効率上昇要因の解析、土木学会論文集G（環境）、J. JSCE, Ser. G (Environmental Research), Vol. 73, No. 7, III_495-III_504, 2017.
- 4) 川勝智、奥村勇太、舟橋五郎、滝沢 智：ダクタイル鉄管及び铸铁管の高精度な老朽化評価法の開発、水道協会雑誌、第91巻、第9号（第1056号）pp.13-25、2022.
- 5) 川勝智、滝沢智：Bootstrap法による铸铁製水道管の腐食深さの確率分布推定と腐食性土壌が周辺土壌の腐食性に及ぼす影響の評価、土木学会論文集G（環境）、J. JSCE, Ser. G (Environmental Research), Vol. 74, No. 7, III_123-III_132, 2018.

2.1 水道管の種類

一口に水道管路といっても、その種類は様々である。少し専門的に区分すると、導水管、送水管、配水管、給水管がある。本章ではこのうち導・送・配水管について水道統計から分かることを述べる。この中では配水管の距離が圧倒的に長く、令和4年度現在で、全国で691,349km存在する。配水管は、配水池にある水を各戸の前面道路まで配るもので、小さなものでは直径75mmあるいは100mm程度、大きいものでは1000mmを超えるような大口径の管もある。次に延長が長いのは、浄水場から配水池へ送水する送水管であり、全国で39,470kmにのぼる。導水管は、水源から浄水場へ、浄水処理するための原水を運ぶ管路である。延長距離としては13,862kmしかないが、浄水場へ導水できなくなると、水道水を作れなくなるため、非常に重要な管路である。ちなみに、1万4,000km弱しかない導水管であるが、日本の鉄道の総延長が数万km程度といわれているのと比較すると、水道管路全体の延長の中では微々たるものであるものの、その長さを理解いただけるのではないかと思う。このように、浄水場で作られた水は、送水管、配水管、さらには宅内の給水管を通じて、圧力のある状態で我々の家庭に届けられている。ちなみに、導・送・配水管は水道事業者のものであるが、給水管は水道利用者のもとなっている。

水道管路には様々な素材が用いられているが、大きく分けて金属管と非金属管に分けられる。金属管にはダクタイル鋳鉄管、鋼管、ステンレス鋼管などが、非金属管には、硬質塩ビ管、ポリエチレン管などがある。一般的に金属管は管体強度が大きく耐久性があるが、埋設環境によっては腐食する懸念もある。一方、非金属管は腐食の懸念が無く、管種によっては管体に柔軟性を有するが、管体強度は金属管より小さい特徴がある。コスト面でも違いがあり、水道事業者ではこれらの管を路線の特徴や埋設環境などによって使い分けている。この他にも、わずかではあるが、石綿セメント管、コンクリート管、鉛管などもある。図2-1には、様々な口径のダクタイル鋳鉄管（左）と鋼管（右）が写っ

ている。どちらも鉄を素材とする管であるが、鑄鉄管は鑄物として作る管であり、より厚みがある。

配水管を延長するには管同士を接続する必要がある。ダクタイル鑄鉄管や塩ビ管などでは継手によって、鋼管やステンレス鋼管では溶接などによって、ポリエチレン管では熱融着などによって接続する。ちなみに、水道管は、どの管種であっても法定耐用年数は40年であり、これが更新の目安の一つとされている。一方で、最新型の水道管は40年を超えて使用できるといわれており、水道事業者ではこれらを勘案した更新計画を立案している。



図2-1 様々な口径の管路（左：ダクタイル鑄鉄管／右：鋼管）

水道を利用する上で気になることの一つは漏水である。水道事業者は、漏水を減らそうと日夜努力を続けているが、その際に指標となるのが無効水量及び無効率である。まず、無効率は無効水量を年間給水量で割った値で、この値が低い場合には漏水率が低いことになる。無効水量は、いわゆる漏水にあたる部分と、調停減額水量といって、赤水（鉄管の錆による一時的な水質の悪化）などのために料金徴収を減額した分などが含まれる。年間給水量と無効水量の差分は有効水量である。有効水量は、更に有収水量と無収水量に分けられ、無収水量には、例えば公園や公衆トイレで利用された分、あるいは消火用に用いられた分などがある。ちなみに、国際水協会（International Water Association）が用いている Non Revenue Water（NRW）の定義は、日本の水道統計の無効水量とは異なり、無収水量と無効水量の合計に該当すると考えられるため、諸

外国と比較する際には注意が必要である。

もう1点、水道を利用する上で気になることの一つが耐震性である。水道管路の耐震性は、法定耐用年数を超過したか否かではなく、管種及び継手によって定められている。先に述べた通り、管同士を接続する際には、継手を用いるか溶接などの方法で接続するが、地震が起これると、管路自体が地震動によって破損したり、継手部分で抜けが生じたりすることがある。これは管種や継手によって耐震性が異なるため、過去の被害事例などを元に、耐震性及び耐震適合性を有する管種及び継手が定められている。耐震管は、離脱防止機構付継手(GX型、NS型等)を有するダクタイル鋳鉄管、溶接継手の鋼管及びステンレス鋼管、高密度・熱融着継手の水道配水用ポリエチレン管である。耐震適合管とは、地盤の条件を考慮すると耐震性があると評価できる管のことであり、先述の耐震管に、K型継手のダクタイル鋳鉄管とRRロング継手の硬質塩化ビニル管が加わる。

以上、わが国における水道管路の特徴を、区分、管種、漏水、耐震の観点から見てきた。次節以降では、これらを踏まえて、わが国の水道管路の現状がどのようなになっているか、またそれをどのように評価しているかについて述べる。

2.2 水道統計から分かること

水道統計は、日本水道協会が全国の水道事業者の情報を収集した統計資料である。その中には、給水区域面積や給水人口といった基礎的な情報に加えて、配水管に関する情報であれば、「耐震型継手を有するダクタイル鋳鉄管の延長(m)」や「熱融着継手を有するポリエチレン管の延長(m)」といった細かな情報も水道事業者ごとに掲載されている。なので、水道統計を見れば、日本全国の水道の状況が分かるといえば良いのだが、実は必ずしもそうではない。

水道事業というのは、日本全国の水供給のあり方の一部にすぎない。給水人口が100人以下である水道は、一般的に「飲料水供給施設」と呼ばれ、水道事業には含まれない。さらに、水道事業のうち給水人口が5,000人以下のものは、水道事業ではあるが簡易水道事業として区別されている。水道事業者数は、令和4年度現在で1,299、簡易水道事業者数は2,376にのぼる。簡易水道事業では給水人口が5,000人以下であることから、簡易水道事業を除いた水道事業、すな

わち水道統計の集計対象となる水道事業体の給水人口は日本全国の中で95%を超えるが、必ずしも全ての水道利用者を含むわけではない点には留意が必要である。

もう一つ留意が必要な点は、必ずしも全ての情報を対比できない点がある。例えば、前述の「耐震型継手を有するダクタイル鋳鉄管の延長 (m)」は平成16年度以前の水道統計にも記載されているが、「熱融着継手を有するポリエチレン管の延長 (m)」は平成17年度以降の水道統計にしか記載されていない。これは、新技術の導入及び評価に伴って統計が細分化してきた経緯を考慮するとやむを得ないことではあるが、単純な比較ができない場合があることには留意が必要である。

さらに事態を複雑化させる要因として、水道事業体及びその基礎自治体である市町村の合併が挙げられる。わが国の基礎自治体はいわゆる平成の大合併を契機として合併し、それに伴って市町村を主な母体として運営する水道事業も統合されており、経年変化を追跡する際には、統合前後で同じものを抽出して採用する必要がある。これができる例として、例えば、茨城県古河市は平成17年9月に旧古河市、旧総和町、旧三和町の1市2町の合併によって新「古河市」となった。これを機に平成21年4月から3つの水道事業が統合され、新たな「古河市水道事業」として運営している。水道統計でこの経過を追うと、平成20年度の水道統計では旧古河市、旧総和町、旧三和町のデータが個別に記載され、平成21年度の統計では新古河市のみの統計データが記載されている。その際に現在給水面積を比較すると平成21年度の新古河市の現在給水面積131.55km²は、平成20年度における旧古河市、旧総和町、旧三和町の現在給水面積の合計値とぴったり一致することが分かる。

だが、同一のものを比較できない場合も多く存在する。例えば、岩見沢市は平成18年に岩見沢市、北村、栗沢町の3市町村が合併して新「岩見沢市」となった。同市内の水道事業は、平成22年度からこの3市町村の水道事業が統合して新「岩見沢市水道事業」として運営している。だが、この3市町村には、もともと4つの水道事業・簡易水道事業が存在し、水道統計上で把握できるのはもともと水道事業として認可されていた岩見沢市水道事業と栗沢町水道事業の2つのみで、簡易水道事業である北村簡易水道事業と栗沢町簡易水道事業は水道統計には記載されていない。そのため、新「岩見沢市水道事業」に関するデー

タを水道統計上で参照すると、平成21年度の現在給水面積は岩見沢市水道事業と栗沢町水道事業の合計で204.8km²であったものが平成22年度には新「岩見沢市水道事業」として307.01km²となっており、実質的には全く異なる事業を比較してしまうことになる。このように、水道統計は現在給水人口ベースで見ると日本の水道事業の大部分をカバーする統計資料であるが、それだけでは分からない点が多くあることに留意する必要がある。

2.3 経年変化と将来予測

前節では、水道統計は有用な資料であるが限界もあることを述べた。それらの限界を踏まえた上で、わが国全体の数値について経年変化を見ることは、なお有用である。ここでは、平成13年度、平成18年度、平成23年度、平成28年度、及び令和2年度の水道統計をもとに、日本における管路の老朽化の状況について簡単に記す。本節で紹介する主要な値を図2-2にまとめた。

まず、上水道事業の給水人口は平成13年度時点で約1億1,607万人である。

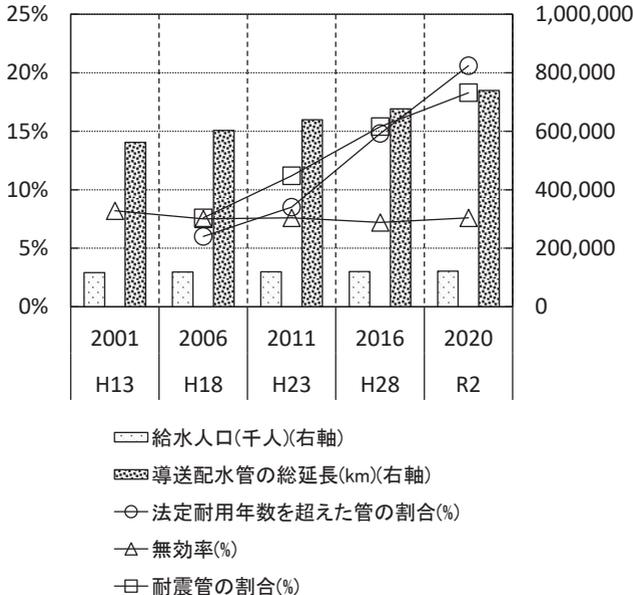


図2-2 水道統計に見るわが国全体の指標値の経年変化

上水道事業としては微増を続け、令和2年度には1億2,128万3,648人になった。わが国全体の人口が減少しているにも関わらず微増となるのは、先述した事例のように簡易水道などを統合してきたためである。一方、水道事業の数はこの間に統合を経て大きく減少し、平成13年度時点で1,956存在したものが、令和2年度には1,312となり、およそ3分の2の数となっている。

次に、管路の老朽化である。水道管路の法定耐用年数である40年を超えた管路の割合は、令和2年度において、導・送・配水管の総延長に対する割合として20.6%である。これが平成13年度時点ではどうだったかという、実は平成13~17年度の水道統計には項目として含まれておらず、初出となる平成18年度の数値を見ると6.0%である。今世紀初頭には、水道管路の老朽化は、まだそれほど大きなものではなかったことが伺える。だが、この数値はその後増加を続け、平成23年度では8.5%、平成28年度には14.8%となり令和2年度には20.6%と20%を超えるに至った。ちなみに、管路の割合を算出する上での分母となる導・送・配水管の総延長を見てみると、この値は平成13年度には562,477kmであったのに対し、令和2年度には739,403kmまで増加している。分母となる値がおおよそ3割増加しているにも関わらず、割合の値が20%まで増加してきていることは、分子にあたる法定耐用年数を超える管路の延長としてはさらにそれを上回るペースで増加してきており、老朽化の課題が顕著であることが分かる。

管路の老朽化に関するもう一つの指標として、無効率がある。いわゆる漏水である。漏水というと、水道管が破裂して道路から水が噴き上がっているような漏水と、管路の継手やごく小さな腐食孔などから少しずつ漏れ出す漏水がある。わが国全体で見ると、無効率は平成13年度に8.2%であったものが平成18年度には7.5%、平成23年度には7.6%、平成28年度には7.2%、令和2年度には7.6%となっている。わが国全体では横ばいの数値であるが、これはわが国全体の無効水量をわが国全体の年間給水量で除していることから、大規模事業体の数値に影響されているためである。

これらの数値が今後どのように推移するかは、水道統計上の情報のみから予測することは難しい。水道統計では法定耐用年数40年を超過した管路の情報は得られるが、布設年度別の情報は得られないためである。

もちろん、各水道事業体では、これらの情報を把握しており、これを実現す

るための取り組みを「アセットマネジメント」と呼ぶ。アセットマネジメントを行うために必要なことは、各管路の情報を把握しておくことと、更新計画を立てることである。各管路の情報としては、例えば管路の材質、布設位置、布設年度などがあり、これらを正確に把握しておく必要がある。当然のことであるが、日本全国で70万kmに及ぶ管路があることを考えると、言うは易し行うは難し、である。

更新計画を立てるためには、管路の実際の耐用年数を考慮することとなる。これは、管路の材質や継手などの管路の条件や、管路が布設される地盤条件によっても異なってくる。加えて、最近では腐食性土壌への対応として、ポリエチレンスリーブを被覆したダクタイル鋳鉄管などが用いられている。これは、金属管が腐食に弱い特性を補完するために埋設土壌と管が直接接触することを防ぐために被覆するものであり、このような管路は法定耐用年数40年を超えても使用できる可能性がある。現状では「ポリエチレンスリーブを被覆したダクタイル鋳鉄管の延長」といった情報は水道統計から得ることはできない限界があるが、実際の水道事業者の管路の劣化状況を把握するためには、単なる法定耐用年数だけではなく、様々な情報を考慮できることが望ましい。

無効率の将来予測も難しい課題であるが、老朽化した管路自体を更新する取り組みは抜本的な改善対策となる。一方、次章以降で紹介されるような、わずかな漏水を地道に発見して修繕していく取り組みも求められる。

最後に、耐震管の割合は、令和2年度において導・送・配水管の総延長に対する割合として18.3%である。これは、同じく平成13年度には記載がないが、平成18年度では7.6%、平成23年度では11.2%、平成28年度では15.4%と徐々に増加している。今後、管路の更新を行う場合には、基本的に耐震管もしくは耐震適合管に更新することが多いことから耐震管もしくは耐震適合管の定義が変わらない限り、この割合は基本的に右肩上がりで見込まれると想定される。耐震管もしくは耐震適合管の定義が変わる場合というのは、これまで以上に大きな被害が生ずる地震が起こる場合になると思われるが、そのような被害をもたらす地震が生じないことを願っている。

2.4 | 土木学会「インフラ健康診断書」

インフラ健康診断書は、2020年から土木学会より発刊されている報告書であり、上下水道だけでなく、河川、道路、港湾など土木に関する様々な分野におけるインフラの「健康診断」結果を報告する取り組みであり、2020年の報告書に続いて、2024年には2巡目の報告書が各部門において作成されている。なお、水道部門は、2020年の本報告書に先立って、2019年にも試行版を作成している。各部門からの報告内容は、「健康度」と「維持管理体制」であり、健康度は無効率と法定耐用年数を超過した管路の割合からA～Eの5段階で、維持管理体制は技術系職員数の変化率及び漏水修繕率から上向き、下向き、横ばいのいずれかとして評価を行っている。水道部門の結果は、2020年の報告書では「C」の「横ばい」、2024年の報告書では、「D」の「横ばい」であった。前節で述べた無効率と法定耐用年数の超過割合と似たような傾向であるが、計算した中身は、実は少し異なる。

先に述べたように、わが国全体を合計した算出方法では大規模事業体の数値に影響されることから、土木学会インフラ健康診断書では、個別の水道事業体の数値をまず計算し、それを全国平均することでわが国全体の健康度を評価している。

具体的に2024年の健康診断書の元となる数値としては2020年の水道統計の情報を用いている。2023年度初頭に得られる水道統計で最新のものが、2022年度中頃に発刊される。水道統計では、数千から数万に及ぶであろう数えきれない量の項目を日本全国の1,000を超える事業体からデータを送付いただいて集計しており、まとめるだけでも多くの時間を要する。すなわち、当時の最新データが2020年のものであったということになる。そこで具体的に例えば無効率率を見てみると、わが国全体では7.6%であるが、わが国全体の水道事業体の平均値として算出すると13.2%である。法定耐用年数を超えた管路の割合は、わが国全体では20.6%であったところ17.8%であり、各事業体の数値を平均すると傾向が異なってくるのが分かる。

このように、事業体ごとに集計すると全国の合計とはやや異なる傾向が見られた。一括りに水道事業体といっても、19世紀終わり頃にわが国で初めて事業を開始した横浜市のような事業体もあれば、高度経済成長期に開発が進んだ市

町村で新たに水道事業を開始したような事業体も存在する。当然のことながら両者では、歴史的な違いから、老朽化した管路の割合は異なる上、維持管理に関するノウハウの蓄積も異なる。そこで、インフラ健康診断書では、水道事業体の規模で区分し、給水人口規模として、60万人以上、10万人以上、3万人以上、1万人以上、1万人未満の5区分で評価を行っている。その結果、3万人以上の3つの区分では健康度は「C」、1万人以上、1万人未満の2区分では健康度は「D」であった。詳細は土木学会ホームページから無料でダウンロードできるインフラ健康診断書¹⁾をご確認いただきたいが、大規模事業体は法定耐用年数を超えた管路の割合は大きいが無効率は低い特徴が、小規模事業体は、法定耐用年数を超えた管路の割合は小さいが無効率は高い特徴がある。

ところで、水道事業体は原則として市町村を単位として運営されているが、例外もある。例えば東京都は東京都内の各市町村ではなく、東京都水道局が東京都内のほぼ全域（ただし、武蔵野市、昭島市、羽村市、桧原村、及び離島を除く）に給水している。同様の事例として、千葉県習志野市は、JR総武線より北側を習志野市水道局が、南側を千葉県企業局が給水している。従って、インフラ健康診断書における水道事業体の規模を、自らが住んでいる基礎自治体の人口規模と照らし合わせることは必ずしも適切でないことがある。すなわち、ある市町村内には複数の水道事業が存在する場合があります、その場合には、同一市町村内であっても水道料金が異なることが有り得る。ちなみに、水道事業体には、リゾート地などにおいて民営のものが令和4年度現在で9事業体存在するが、これらの水道事業もインフラ健康診断書の評価対象として含まれている。

最後に、インフラ健康診断書で維持管理体制の評価に用いられている技術系職員数と漏水修繕率について述べる。技術系職員数は、水道事業体における技術系業務を行っている職員の数で、管路のアセット・マネジメントや更新工事の監理・監督などを行うために必要な人材である。インフラ健康診断書の評価では、「配水管延長あたりの技術系職員数についての5年前との比較」を指標としている。各事業体においてこれらの数値が5%以上変化した場合には「上向き」もしくは「下向き」と判断し、変化が5%より小さい場合には「横ばい」と判断している。この際には、先述した事業体の統合を考慮して集計している。漏水修繕率は、水道統計の中の「年間漏水量」という値を「無効水量」で割っ

た値である。ここでいう「年間漏水量」は、前述の漏水の説明において「修繕した漏水量」を指す。「無効水量」が漏水しているであろう全ての量を表すのに対し、「年間漏水量」は、実際に修繕した量であるから、この割合を取ると、漏水を修繕した割合が計算できる。漏水修繕率については、過去3年間の平均値を取り、これが80%以上であれば「上向き」、20%以下であれば「下向き」、その間であれば「横ばい」と評価している。これらの値を、全国の事業体について算出した上で、その平均値及び、給水人口規模ごとの平均値でそれぞれ「維持管理体制」を評価している。これらを総合して評価したところ、2020年、2024年とも維持管理体制の評価は「横ばい」であった。今後は、技術系職員数は減少すると予想されることから、それを補う新技術などを採用して管路の維持管理を行っていくことが期待される。

2.5 | まとめ

ここまで、水道管路の老朽化について、水道統計から分かることと、それを基にした土木学会インフラ健康診断書について説明してきた。水道統計から分かることには限界もあるが、わが国全体として、老朽化が進んできていることが分かり、包括的に状況を把握できる意義がある。

今後は、これらの指標の精度を向上させ、日本全国を包括できるように、水道事業だけでなく、簡易水道事業、飲料水供給施設も含めた統一的な把握ができることが望ましい。その際に、例えばポリエチレンスリーブを被覆したダクタイル鋳鉄管のように、最新の技術に対応できる統計項目へと逐次的に更新していくことが望ましい。さらには、様々な主体が運営する水道事業体の日本全国の状況を概括できるためのモニタリング機関を設置し、更新の状況を絶えず把握していくことが、今後のわが国の水道事業にとって必要となる。

<引用・参考文献>

- 1) 土木学会 インフラ健康診断書 ホームページ
<https://committees.jsce.or.jp/reportcard/>

3.1 はじめに

水道管路は都市のライフラインとして、人々の生活に欠かせない存在である。しかし、多くの水道インフラは高度経済成長期に集中的に整備され、今後急速に老朽化することが懸念されている。人口減少社会を迎え、労働人口の減少やコスト制約が重なる中、インフラの効率的な維持管理が求められている。特に水道管路で生じる漏水は、貴重な水資源の損失を招くだけでなく、減水や断水といったサービス障害を生じ、日常生活や社会活動に重大な影響を及ぼすリスク要因ともなり得る。本稿では、AIやセンシング技術を活用した漏水検知の動向について述べる。

3.2 漏水検知の課題と技術革新

従来の漏水検知方法は、熟練した調査員が音聴棒や電子式漏水発見器を用いて、聴覚（人間の耳）を頼りに異常音を判別するものである（図3-1）。この手法は、正確で信頼性が高い一方で、調査員の経験に依存しており、効率性や普及性の面で課題がある。また、地中に埋設された管路から漏水を発見することは困難であり、従来の手法では漏水の早期発見が十分に行えない場合もある。



図3-1 漏水検知の様子（音聴棒 [左] と電子式漏水発見器 [右] の使用）
（フジテコム株式会社のテストフィールドにて撮影 [2015年9月]）

近年、IoTやリモートセンシングといった先進技術の進展により、漏水検知技術の革新が進んでいる。水道技術研究センターが示す「水道の未来予想図」(図3-2)では、AIやビッグデータ解析を用いた次世代の水道管路管理が描かれている。具体的には、センサ技術やデータ分析によって、地中に埋設された管路の状態をリアルタイムで把握し、漏水箇所を迅速に特定するシステムの実現も表現されている。こうしたビジョンは、水道インフラの維持管理における効率性と精度の向上に大きく寄与するものと考えられる。以下3.3では、音響データを画像化(リカレンスプロット:RP)し、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いて漏水の有無を判別する新たな取り組みを紹介することにする。

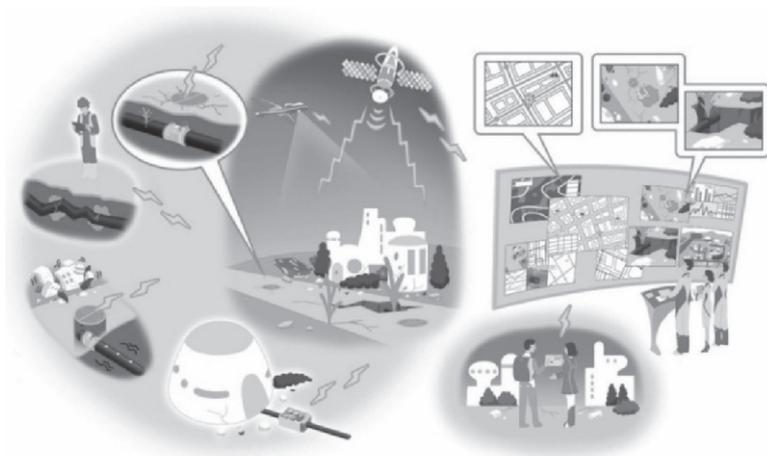


図3-2 被害情報収集システム¹⁾
(「PipeStars」プロジェクト_水道の未来予想図)

3.3 新技術の概要 (AIによる漏水検知モデルの開発)

開発したAIモデルは、実フィールドで観測された音響データを用い、漏水音と暗騒音(漏水音以外の雑音)を識別する。具体的には以下の手順を採用した(図3-3)。

- ①データ取得: 実際の漏水発生現場にセンサを設置し、漏水音や暗騒音を1分間録音。
- ②データの変換: 録音データをリカレンスプロット (RP) として画像化。リカレンスプロットは、時系列データを2次元平面に可視化するための手法として知られている。
- ③AIモデルの構築: 画像化したデータを畳み込みニューラルネットワーク (CNN) に入力し、漏水の有無を学習。CNNはAI顔認証にも活用されている。
- ④テストデータを用いた性能評価: 学習に用いていないデータを使用し、モデルの精度 (汎化性能) を確認。

本実験ではダクタイル鋳鉄管 (DIP) と硬質ポリ塩化ビニル管 (VP) を対象とした。10地点の音響データを用い、モデルの汎化性能を評価する。実際には5箇所が発生した漏水に対して、センサを設置可能なバルブ等の2地点 (Aセンサ・Bセンサ) で録音したため、地点番号1~5、両センサのペアを組み合わせて{1-A・1-B}, …, {5-A・5-B}のように表記する。

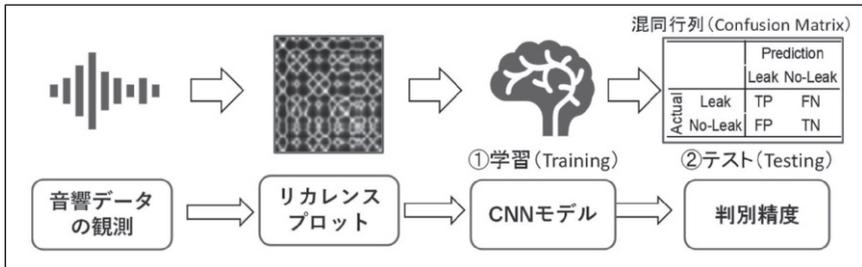


図3-3 漏水検知モデルの構築フロー

3.4 実験結果と考察 (漏水検知モデルの判定精度)

既往研究²⁾の成果に基づき、学習処理に用いる地点数が増加したとき、判別精度が向上することが期待されることから、本実験では学習データに9地点のデータを用いてRP-CNNモデルを構築し、残りの1地点を未学習データとして判定処理 (テスト) を行う枠組みを採用した。

DIPの観測データに関する結果を図3-4に示す (「Recall」は漏水あり [TP: True Positive] を判定できた割合。TP / (TP+FN) で計算し、「再現率」とも

いう。「Specificity」は漏水なし [TN : True Negative] を判定できた割合。 $TN / (FP + TN)$ で計算し、「特異度」ともいう)。図中の「1-B」は、テストデータに「1-B」を用い、残りの9地点のデータをモデルの学習に用いた場合の結果を意味する。この「1-B」の結果を見ると、Recall及びSpecificityが50%であり、Balanced-Accuracy (BA) は100%、すなわち漏水音は漏水音、暗騒音は暗騒音と完璧に判定した例である。BAが80%以上の良好な精度を獲得したのは、DIPでは7件であった。

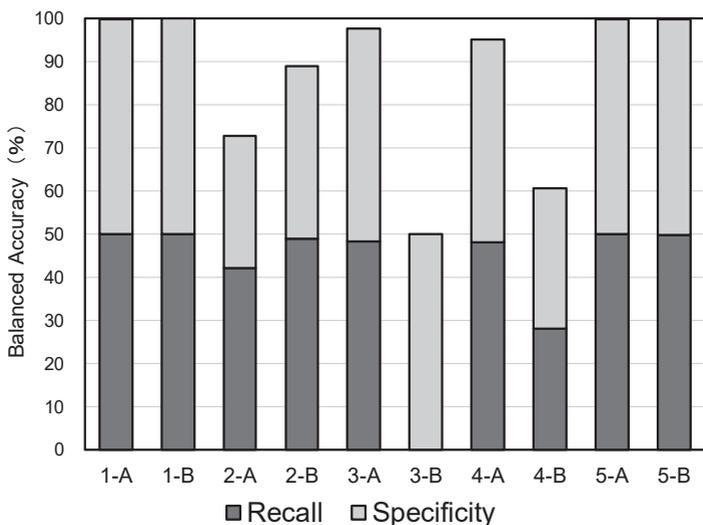


図3-4 AIモデルの判別精度結果 (管種 : DIP)

実証実験の結果、AIモデルはDIPに関して良好な判定精度を示したが、VPでは80%以上のBAを獲得したのは5割にとどまった。また、DIPにおいても、特定の地点 (例えば3-Bや4-B) では、音響データの乱れにより精度が低下するケースが見られた。「擬似漏水音」と呼ばれる浄化槽のプロアー音、柱上トランス音、下水道の流下音などの影響も、精度低下の一要因として考えられる。

熟練調査員による判定結果と比較したところ、判定が容易な地点ではAIモデルも高精度を示したが、調査員にとって困難な地点ではAIモデルの精度も低下した (表3-1)。