

上下水道インフラの強靱化に貢献する雨水対策ソリューション・水道管路劣化診断ソリューション

Rainwater Solutions and Water Pipeline Deterioration Diagnostic Solutions for More Resilient Water Supply and Sewerage Infrastructure

鳴海 啓太 NARUMI Keita 中村 健介 NAKAMURA Kensuke 杉野 寿治 SUGINO Toshiharu

世界規模で自然災害が増加する中、我が国ではインフラの老朽化が進んでおり、人々の暮らしや社会を守るため、強くなやかなインフラの構築が求められている。

東芝グループは、豪雨による施設などの浸水リスクを低減し、市街の浸水リスクのリアルタイムな予測で防災・減災を支援する雨水対策ソリューションを開発している。また、老朽化が深刻な水道管路の劣化状況調査を効率化する水道管路劣化診断ソリューションを開発している。これらの技術開発を通して、上下水道インフラの強靱（きょうじん）化に取り組んでいる。

With natural disasters increasing on a global scale and infrastructure deteriorating with age in Japan, more resilient, flexible infrastructure is needed to maintain the livelihood of individuals and society.

The Toshiba Group is developing a rainwater solution that helps reduce the risk of facility flooding due to torrential rains, as well as preventing and mitigating disasters by providing real-time flood risk prediction in urban areas. To combat the serious issue of aging water pipelines, we are also developing diagnostic solutions to streamline surveys for identifying the level of deterioration. We will continue to engage in efforts to build more resilient water supply and sewerage infrastructure utilizing these technologies.

1. まえがき

現在我が国では、気候変動の影響による豪雨災害の激甚化・頻発化や、高度経済成長期以降に急速に整備されたインフラの老朽化が大きな問題となっている。2014年には国土強靱化基本計画が策定され、国を挙げてこの問題の解決に取り組んでいる。

東芝グループは、これらの問題解決に資する様々なソリューション開発を推進している。ここでは、インフラ強靱化に貢献する雨水対策ソリューションと水道管路劣化診断ソリューションについて述べる。

2. 雨水対策ソリューション

近年、豪雨災害の激甚化・頻発化により浸水被害が深刻化している。東芝グループはこれまで、浸水リスクの低減を目指して雨水対策ソリューションの開発に取り組んできた。ここでは、雨水ポンプ場への流入量を予測し、それに基づいてポンプを最適なタイミングで起動・停止させることで浸水リスクを低減する雨水ポンプダイナミック制御と、降雨情報や管きょ内水位などの情報からリアルタイムに浸水リスクを予測し、防災・減災の活動をサポートするリアルタイム浸水ハザードマップの開発について述べる。

2.1 雨水ポンプダイナミック制御

雨水ポンプの制御には、ポンプの号機ごとにあらかじめ設

定した水位に従って起動や停止を行う、水位設定制御が広く採用されている。しかし、水位設定制御ではポンプ場への流入量の変動に応じた柔軟な施設運用が難しく、流入量の変動が大きいつきには雨水ポンプの起動・停止頻度が増え、浸水リスクの増加につながる場合がある。そのため、豪雨時には熟練運転員の経験に基づいて、雨水ポンプを手動で運転することが多い。

このような問題を解決するため、雨水ポンプダイナミック制御を開発した（図1）。降雨情報や管きょ内水位からポンプ場への流入量を予測し、予測量に応じて雨水ポンプの起動・停止水位を動的に変化させることで、ポンプ井水位の上昇と雨水ポンプの起動・停止回数を抑制する。

5～10年確率降雨¹⁾や実際の雨水ポンプ場の物理諸元などを参考に、数値シミュレーションを実施した。降雨強度55 mm/hの計画降雨、流出係数0.7、排水面積150 haと仮定し、合理式により、計画降雨を基準とした計画雨水流入量を16.0 m³/sと定めた。雨水流入量は、最大が16.0 m³/sとなるように生成した。雨水ポンプ吐出量は、計画雨水流入量に対応できるように、雨水ポンプ1台当たりの吐出量を6.0 m³/s、3台で18.0 m³/sとした。また、雨水ポンプの起動時間、停止時間をそれぞれ、3分、2分と仮定した。制御周期は1分、雨水流入量の予測時間は4分とし、4分前に正確な雨水流入量予測値が得られると仮定して、制御ロジックを評価する。

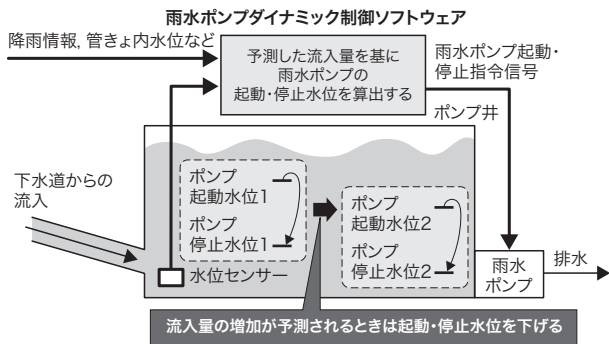


図1. 雨水ポンプダイナミック制御の概要

予測された流入量を基に起動・停止水位を動的に変化させて雨水ポンプの運転タイミングを最適化し、浸水リスクを低減する。

Overview of rainwater pump dynamic control

ポンプ井の水位上昇と雨水ポンプの起動・停止回数を指標として、水位設定制御と雨水ポンプダイナミック制御を比較した。その結果を図2に示す。水位設定制御では、ポンプ井のピーク水位が5.19 m、雨水ポンプの起動・停止回数が195回であったが、雨水ポンプダイナミック制御では、ポンプ井のピーク水位が4.98 m、雨水ポンプの起動・停止回数が53回であった。このように、雨水ポンプダイナミック制御は水位設定制御と比較して、ポンプ井水位の上昇とポンプ起動・停止回数を抑制する効果があり、浸水リスクの低減に貢献できる²⁾。今後、雨水流入量の予測精度を高め、実運用に適用した場合の効果について検証を進めていく。

2.2 リアルタイム浸水ハザードマップ

近年増加している浸水被害には、河川の洪水などの外水氾濫に起因するものと、市街地などの排水機能が降水量を処理しきれなくなり発生する内水氾濫に起因するものがある。降水量の増加に加え、都市化が進んだことにより地盤の貯水能力が低下し、内水氾濫による被害はますます拡大している。このような背景の中、2015・2021年の水防法改正もきっかけとなり、下水道管きよ内の水位計測が徐々に広がっている。

そこで東芝グループは、降雨情報（気象レーダー、降水予測情報など）や、管きよ内水位計のデータを基に浸水エリアや水位を予測することで、内水氾濫のリスクをリアルタイムに表示するリアルタイム浸水ハザードマップを開発している（図3）。

リアルタイム浸水ハザードマップのキー技術は、AIモデルと簡易流出解析モデルである。AIモデルは、ディープラーニングの一種である畳み込みニューラルネットワークモデルを採用し、降雨情報と管きよ内水位データ（現在の値）から、管きよ内水位計の計測点の未来の水位を予測する。簡易流

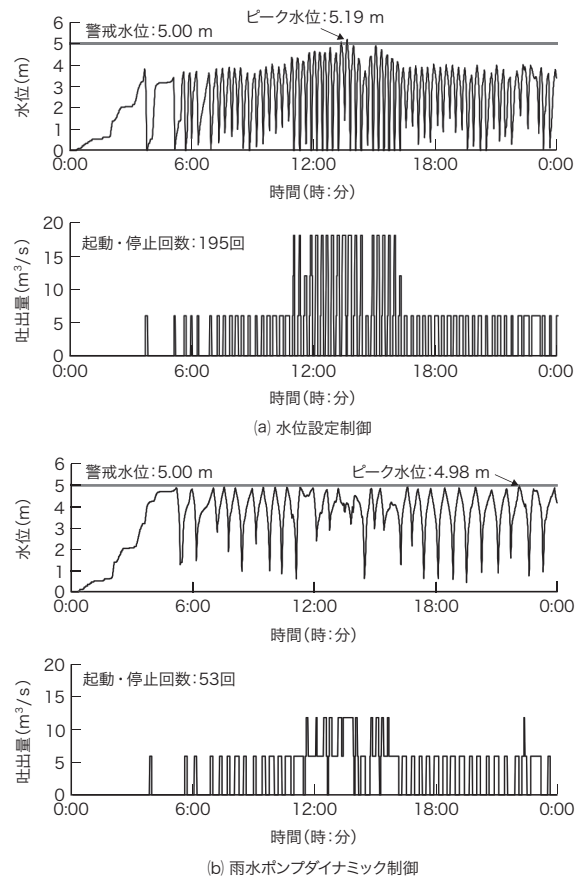


図2. 水位設定制御と雨水ポンプダイナミック制御によるシミュレーション結果の比較

雨水ダイナミック制御は、ポンプ井水位とポンプ起動・停止回数の両方を抑制できる結果が得られた。

Comparison of water level setting control and rainwater pump dynamic control simulation results

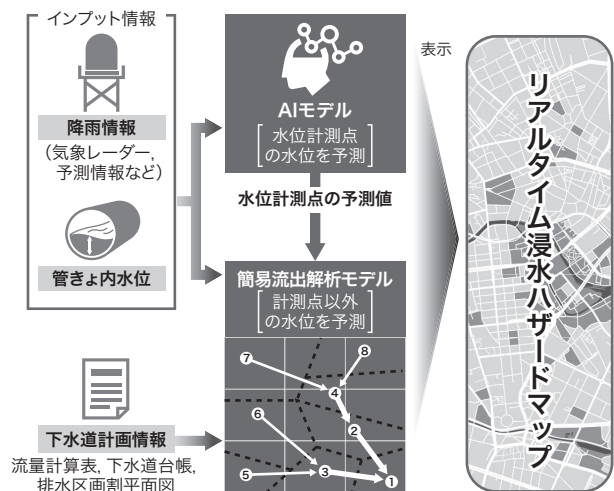


図3. リアルタイム浸水ハザードマップの概要

AIモデルと簡易流出解析モデルの出力結果を組み合わせ、リアルタイム浸水ハザードマップを作成する。

Overview of real-time flood hazard map

出解析モデルは、下水道計画で用いられる排水区画割平面図や、流量計算表、下水道台帳などの情報から構築され、複雑な計算を使う通常の流出解析より短時間で解析できることが特長である。簡易流出解析モデルは、管きよ内水位データとAIモデルが算出した予測水位を基に、管きよ内水位が計測されていないポイントの水位を予測する。このように、AIモデルと簡易流出解析モデルを組み合わせることで、下水道管網全体の水位予測が可能になる。

今後は、この技術を発展させ、下水道管からあふれた水による面的な浸水リスクを予測できるリアルタイム浸水ハザードマップの開発を進めていく。

3. 水道管路劣化診断ソリューション

高度経済成長期以降に急速に整備された水道管は、全国的に老朽化が進行している。水質悪化や漏水事故の発生も危惧されることから、近年、予防保全のための点検・調査が必要となっている。

水道管は管内面と管外面の双方で劣化が進行する。管内面は、さびや堆積物などの異常物質が発生し、それらが成長すると水道水の水質に影響を及ぼすこともある。一方、管外面は埋設土壌、地下水による腐食などが原因で管厚が減っていく。管厚が減り続けると最終的には管に孔（あな）が開き、漏水が生じる。孔が大きくなり漏水量が増えると、最悪の場合、道路上での浸水や陥没事故などにつながる。

このような水道管の劣化状況を把握するために、現地調査、及び調査後の診断に、多くの労力・時間を費やしている。そこで東芝グループは、劣化状況把握の効率化を目的とした技術開発を推進している（図4）。ここでは、技術開

発の例として、水道管内AI画像診断、超音波センサーを用いた管厚測定について述べる。

3.1 水道管内AI画像診断

水道管内面の劣化状況を把握する調査方法として、水道管内カメラ調査が近年注目されている。この調査は通水した状態で水道管内にカメラを挿入し、水道管内の様子をカメラ映像で確認する。断水せずに調査できるため、近隣住民の給水に影響を与えないこと、さびや堆積物などの異常物質を直接視認できることなどの長所がある。その一方で、数少ない専門の判定者が、長時間を掛けて多様な映像を目視で確認する必要があり、その負担の軽減や評価基準のばらつき抑制が課題となっている。そこで、AIを活用した画像解析により、撮影映像から、水道管内面の劣化状況を自動的に判断・可視化する水道管内AI画像診断を開発した。

まず、AIによる画素単位の領域分割やエッジ抽出の技術を用いて、さびや堆積物などの異常箇所を検出する。次に、異常領域の大きさなどの情報から、劣化評価ランク（S：健全，A：良好，B：劣化初期，C：劣化中期，D：劣化末期）を決定する。評価ランクの判断基準は、一般社団法人 全国水道管内カメラ調査協会が制定するガイドライン⁽³⁾に従った。

また、診断作業を支援するために、AIによる診断結果を分かりやすく表示する（図5）。現場での撮影映像と診断結果を並べて表示する機能や、映像中で劣化箇所があるシーンや異常物質を視覚的に示す機能、洗浄前後の映像を左右に並べて改善状況を確認できる機能などがある。更に代表的な劣化箇所をスナップショットとして選択し、調査報告書向けのイメージを自動作成する機能も備えている。

このように、水道管内AI画像診断により、映像確認から報告書作成までの一連の作業の効率化と、評価基準の均

水道管劣化状況	開発技術
管内面 さび、堆積物などの発生	水道管内AI画像診断
管外面 土壌、地下水からの腐食などによる減肉	超音波センサーを用いた管厚測定

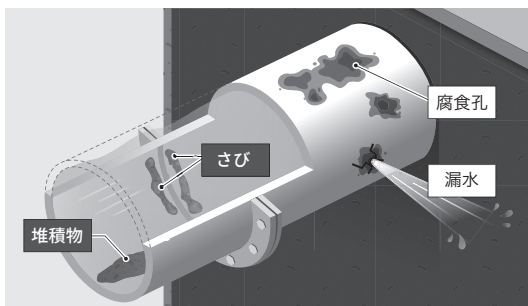


図4. 水道管の劣化イメージと開発技術の例

水道管は管内面、管外面双方で、劣化が進行する。

Water pipeline deterioration and examples of new technologies

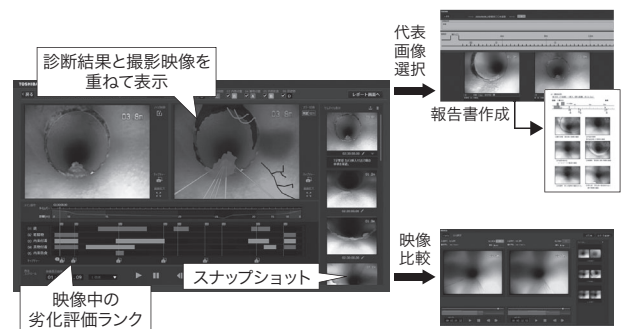


図5. 水道管内AI画像診断による診断結果の表示例

診断結果を見やすく表示して、効率良く確認できる。

Examples of water pipeline artificial intelligence (AI) image diagnostic results

一化ができる。今後、より多くの水道管内映像を解析し、検証と改良を進めていく。

3.2 超音波センサーを用いた管厚測定

水道管外面の劣化状況の確認は、埋設されている水道管を掘削して調査するのが一般的である。しかし、限られた時間の中で掘削・調査・復旧工事を行わなければならない、更に多くの申請手続きや関係各所との調整が必要になることから負担が大きく、実際に調査している自治体は少ない。

このような負担を低減するために、掘削しなくても、水道管内部より管厚を測定できる超音波センサーの技術開発を進めている。断水不要なので、生活への影響も少ない。

超音波センサーで管厚を測定する原理を、図6に示す。センサーから超音波を送信し、物質の境界面で反射された超音波を受信する。管内面と管外面で反射された超音波を受信するまでの時間差と、管種固有の音速を基に、管厚を算出する。管厚が減少した場合、管内面と管外面からの超音波の時間差が小さくなるため、管厚の減少量が分かる。

図7に、超音波センサー構造の概要を示す。超音波センサーを水道管内に挿入する際は、水道管に設置された消火栓などを活用する。また、超音波センサーによる測定では、測定精度の確保のために、超音波を管内面に対して垂直に送受信することが重要である。そのため、断水せずに水道水を通水している状況でも、超音波センサーが管内面に対して垂直になるように管内部で固定できる形状にした。また、管円周上の複数の箇所での管厚を測定するために、超音

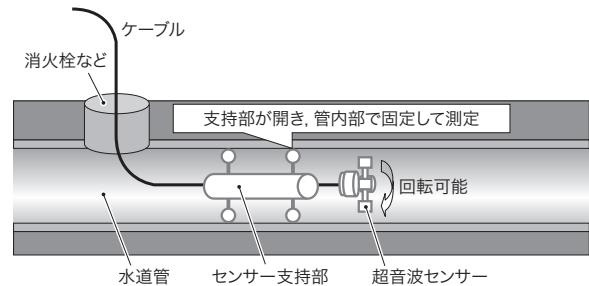


図7. 超音波センサー構造の概要

消火栓などから挿入し、管内部で固定できる形状にした。

Overview of ultrasonic sensor structure

波センサーは回転可能である。

自治体などの水道管劣化状況調査の負担を大きく低減できる技術であり、今後、実用化に向けて開発を進めていく。

4. あとがき

上下水道インフラの強靱化に向けた東芝グループの取り組みとして、雨水対策ソリューション及び水道管路劣化診断ソリューションの開発について述べた。

今後は、開発した技術が広く採用され、安全・安心な生活を守れるよう、技術開発及び実用化を推進していく。

文献

- (1) 日本下水道協会. 下水道施設計画・設計指針と解説(前編) - 2019年版-. 日本下水道協会, 2019, 607p.
- (2) 時本寛幸, ほか. “起動・停止水位の動的設定により浸水リスク低減を図る雨水ポンプ制御技術”. 第58回下水道研究発表会講演集. 大阪, 2021-08, 日本下水道協会, 2021, p.338-340.
- (3) 全国水道管内カメラ調査協会. 水道管内カメラ診断評価マニュアル. 2020, 75p. <<https://www.jweca.org/43p.pdf>>, (参照 2023-07-20).

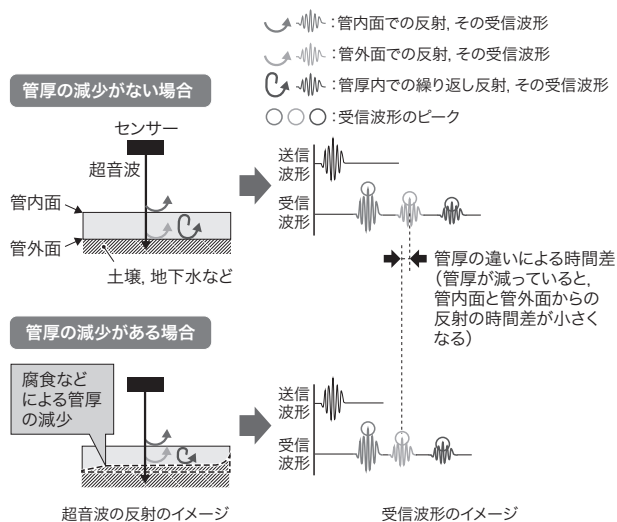


図6. 超音波センサーによる管厚の測定原理

管内面と管外面で反射された超音波を受信するまでの時間差の変化から、管厚の減少量を算出する。

Measurement principles of pipe thickness according to ultrasonic sensors



鳴海 啓太 NARUMI Keita
東芝インフラシステムズ(株)
社会システム事業部 インフラサービス創造部
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



中村 健介 NAKAMURA Kensuke
東芝インフラシステムズ(株)
社会システム事業部 インフラサービス創造部
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



杉野 寿治 SUGINO Toshiharu
東芝インフラシステムズ(株)
社会システム事業部 インフラサービス創造部
環境システム計測制御学会会員 技術士(経営工学部門)
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.