水道管路のセンシングデータを用いた 漏水有無の判別分析

川村 和湖¹, 荒井 康裕¹, 小泉 明¹, 稲貝 とよの¹, 横川 勝也¹
加治 克宏², 鈴木 賢一², 有吉 寛記², 森山 慎一²

¹首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

E-mail: y-arai@tmu.ac.jp

²フジテコム株式会社 (〒101-0025 東京都千代田区神田佐久間町二丁目 20 番地 翔和秋葉原ビル 3F)

水道管路の漏水防止対策に着目すると、高度な技術を有する調査員が、漏水音を聞き分ける方法で実施され、音の大きさ・高さ・音色を聞き分けていると仮定できる。近年、人材不足から技術力の継承が問題となり、今後は聴覚と経験による従来技術に代わる機械的な方法が必要となる。そこで本研究では、漏水有無の判別に有効な情報の明確化を目的に、異なる条件下で測定した漏水音データに関して、録音機で観測された波高値の時系列変化、並びにフーリエ変換した周波数スペクトルの特徴を分析した。判別分析の結果、漏水判別に有効な周波数領域は、DIP では約 1,000[Hz]~5,000[Hz]、PE では約 500[Hz]~1,500[Hz] の範囲であることが示唆された。また、漏水箇所と録音機の位置関係や漏水量の多少が、漏水判別の精度に対して影響を及ぼすことが明らかとなった。

Key Words: water pipeline, water leakage, frequency spectrum, fourier transform, discrimination function

1. はじめに

我々の日常生活や社会産業活動を支える社会インフラの多くは、高度経済成長期に建設されており、近年、老朽化が深刻な問題となっている。水道施設もその1つであり、管路ネットワークにおける漏水事故が各地で顕在化し始めている。今後は、給水人口や給水量の減少を前提として、老朽化施設の更新需要に対応するために様々な施策を講じなければならない¹⁾。

これに対して、事故防止やメンテナンスの負担減を実現するインフラ維持管理・更新・マネジメント技術に、多くの期待が寄せられている²⁾。漏水防止対策として行われる日々の調査作業は、高度な技術を有する調査員が、路面や弁栓に伝わる漏水音を音聴棒等で聞き分ける方法で実施されている³⁾。近年、こうした経験豊富な人材の育成・確保が不十分な状況にあり、技術継承が重要な課題となっている。調査員は漏水音の強弱のみならず、高さや音色の微妙な違い⁴⁾を聞き分けていると仮定できるが、今後は“聴覚と経験”による従来技術に取って代わる機械的なモデルの構築が必要とされる。特に、「高さや音

色」の情報については、インフラに設置されたセンサからデータを無線通信により回収する技術²⁾に深く関連性を有し、膨大な情報の中から漏水検知に「必要な情報」と「不必要な情報」を取捨選択する技術が要求される。

漏水に関する既往の研究には、高感度センサによる漏水検知の技術開発⁵⁾や音圧データの常時監視を活用した維持管理⁶⁾がある。また、SGP(炭素鋼鋼管)で測定した漏水音のパワースペクトルについて、漏水音のパワースペクトルのピークは700[Hz]前後に現れる⁷⁾ことが明らかとなっている。しかし、管路材質や漏水量等の異なる条件下で漏水音の周波数特性を分析した基礎的な研究は、必ずしも十分に実施されていないと考える。

そこで本研究では、異なる条件下で測定した漏水音のデータを「時間領域」及び「周波数領域」の2つの側面に着目し、録音機で観測された波高値の時系列変化、並びにフーリエ変換した周波数スペクトルの特徴を分析することで、漏水有無の判別に有効な情報を把握することを目的とする。以下2.では、本研究の使用データについて述べ、3.では時系列波高値(振幅)の乱れに着目した分析を試みる。4.では

図-1 テストコース

図-2 録音機による漏水データ測定条件

表-1 漏水音の伝播性⁸⁾

条件	伝播距離		備考
	長い	短い	
口径	小口径	大口径	大口径ほど管振動が起きにくい
管材質	鋳鉄管、鉛管、鋼管	塩ビ管、石綿管	非金属管は金属管より振動が劣る
継手種類	ソケット継手	ゴム継手	ゴムにより漏水音が減衰する
漏水量	多い	少ない	微量漏水は漏水音が小さい
水圧	高い	低い	低水圧ほど漏水音が小さい
埋設深度	浅い	深い	深度が深いほど漏水音が減衰する
土の密度	蜜	疎	粗いほど漏水音が減衰する

周波数スペクトルを用いた判別分析を行い、漏水有無の判別に有効な周波数領域を特定化する。最後

に、5. では本研究で得られた漏水判別モデルに対し、(1) 異なる条件で測定されたデータを代入した場合の再現性、並びに (2) ノイズデータを除去した場合の精度変化を確認する。

2. 疑似漏水実験と録音機によるデータ測定

本研究の使用データは、フジテコム株式会社が平成 27 年 5～7 月に行った疑似漏水実験において、漏水音データ収集装置（録音機）により測定した 120 秒間の「漏水あり」と「漏水なし」の音声データとする。実験に使用されたテストコースを図-1 に示す。測定はすべて昼間に行ったものとし、音声データ（WAV ファイル）のサンプリング周波数は 44.1 [kHz]、量子化ビット数は 16 [bit]とする。

録音機の設置箇所及び地下の測定環境を図-2 に示す。測定条件は、わが国で最も管路延長が長いダクタイル鋳鉄管（DIP）に関する分析に主眼を置き、管種の違いによる影響を比較するためポリエチレン管（PE）を対象として、次の項目を組み合わせた計 6 条件とする。管種が「DIP」と「PE」、漏水量が「毎分 4 [L]（多）」と「毎分 2 [L]（少）」、録音機と漏水発生箇所間に分岐点がある場合（同一路線）と「ある場合（別の路線）」とする（条件①：DIP/ 同一路線 / 漏水量少、条件②：DIP/ 同一路線 / 漏水量多、条件③：DIP/ 別の路線 / 漏水量少、条件④：DIP/ 別の路線 / 漏水量多、条件⑤：PE/ 同一路線 / 漏水量少、条件⑥：PE/ 別の路線 / 漏水量多）。漏水量については、実際の漏水調査業務における地下漏水の実績を踏まえて、毎分数[L]程度であると想定する。なお、録音機は消火栓の上に設置されているものとし、漏水点でのバルブの開閉により疑似漏水を生じさせているため、流水音・管振動音・摩擦音を含んだ音を生じさせているという意味では同じ状況であると仮定する。実験時の水圧は 0.15[MPa]、埋設深度は約 1.2[m]とする。

ここで、漏水音の伝播性の違い⁸⁾を表-1 に示す。管種、録音機の位置、漏水量の 3 つの観点から、漏水音の伝播特性について整理する。第一に、管種（「DIP」及び「PE」）に関して、非金属管は金属管より振動が劣ることから、金属管の方が漏水音の伝播距離が長い。したがって、非金属管の「PE」においては、金属管の「DIP」よりも振動が減衰した音声データが得られると考えられる。第二に、録音機の位置（「同一路線」及び「別の路線」）に関して、録音機と漏水発生箇所に間に分岐点がある「別の路線」のデータにおいては、分岐点を挟まない「同一路線」と比較

図-3 振幅の定常性指標の推移（条件①の漏水なし）

図-4 「漏水あり」の振幅波形

図-5 「漏水なし」の振幅波形

図-6 ノイズを含むと考えられる「漏水なし」の振幅波形

して、振動が減衰すると考えられる。第三に、漏水量（漏水量「多」及び「少」）に関して、漏水量が「多」の場合（毎分4[L]）においては、漏水量が「少」の場合（毎分2[L]）よりも漏水音の伝播距離が長いことから、振幅が大きいと考えられる。

本研究では、上述の伝播特性に留意しながら異なる条件下で測定した音声データの分析を行うことで、漏水有無の判別に資する基礎的な特性を明らかにする。

3. 時系列波高値の瞬間的な乱れに着目した分析

テストコースで測定した漏水あり及び漏水なしには、自動車の走行音や周辺住宅からの都市騒音が一時的に混入する可能性がある。本章では、録音機で観測された時系列波高値（振幅，単位：[－]）の一時的な乱れを捉え、周波数スペクトルを用いた漏水有無の判別分析（後述）においてノイズの除去が必要かを検討する。

分析の手順は、条件①の「漏水あり」及び「漏水なし」を対象に、120秒間の音声データを1秒刻みに分割し、本研究ではその1秒間を「1コマ」と呼ぶ。各コマにおける振幅の標準偏差を算出し、これを振幅の「定常性指標」と定義した。さらに、この振幅の定常性指標の平均 μ 及び標準偏差 σ （ $n=120$ ）を用いて4段階（ μ 以下；◎， $\mu+\sigma$ 以下；○， $\mu+2\sigma$ 以下；△， $\mu+2\sigma$ よりも大きい；×）に各コマを分類した。振幅の定常性指標の推移（漏水なしの結果）を図-3に示す。

「漏水あり」及び「漏水なし」の典型的な振幅データとして、定常性指標が「◎」となったコマの振幅波形を図-4及び図-5に示す。「漏水あり（図-4）」の場合には、継続的な乱れが振幅波形に表れるのに対し、「漏水なし（図-5）」の場合には、ほぼ一定に推移していると言える。しかし、定常性指標が「×」となった「漏水なし」の波形において、定常的でなく偶発的に生じた瞬間的な乱れが存在することが確認された（図-6）。このような瞬間的な乱れを生じたコマ（定常性指標が×・△・○となるコマ）が120コマの内、27コマ（22.5[%]）存在することも確認された（図-3）。

そこで以下では、「漏水なし」の測定データに着目し、振幅の乱れが及ぼす周波数スペクトルへの影響を考察する。振幅の定常性指標が「◎」となるコマの周波数スペクトルを図-7に、振幅の定常性指標が「×」となるコマの周波数スペクトルを図-8に各々示した。前者（定常性指標が「◎」）と比較して、後者（定常性指標が「×」）は、図中の破線枠内でレベルの局所的な上昇が見られる。以上の結果から、周波数スペクトルにおいて、振幅の瞬間的な乱れの影響が生じていると言える。したがって、漏水音測定

図-7 振幅の定常性指標が「○」となるコマにおける周波数スペクトル

図-8 振幅の定常性指標が「×」となるコマにおける周波数スペクトル

データを用いた判別関数を作成する際に、一時的なノイズを含むコマを除去するといった統計処理が適当であることが示唆された。なお、ノイズ処理の効果を明らかにするため、まず、4. ではノイズデータの除去は行わずに判別分析を試みた上で、その後の5. においてノイズデータを除去した場合に判別精度がどのように変化するかを確認することとする。

4. 周波数スペクトルを用いた漏水有無の判別分析

漏水判別に有効な周波数領域の特定化を目的に、周波数スペクトルを用いた漏水判別分析を試みる⁹⁾。判別分析の手順を図-9に示す。手順(1)では、録音機で測定した「漏水あり」と「漏水なし」の120秒間の音声データを1秒毎に分割して120コマ分のデータを作成する。手順(2)では、1コマ毎に周波数解析を行い、1[Hz]～22,050[Hz]（サンプリング定理より44.1[kHz]÷2=22.05[kHz]）の周波数スペクトルを算出する。手順(3)においては、周波数スペクトルのレベルを500[Hz]間隔で平均化し、44（＝22,050[Hz]÷500[Hz]）次元のデータに換算する。手順(4)では、「漏水あり」と「漏水なし」を目的変数とし、44次元化した500[Hz]間隔の平均値を説明

図-9 周波数スペクトルを用いた漏水判別分析の手順

図-10 DIPに関する判別率の比較

図-11 PEに関する判別率の比較

図-12 DIPとPEの判別率の比較

変数として1要因ずつ用い、500[Hz]、1,000[Hz]、…、22,000[Hz]の計44パターンの判別関数を算出する。

本分析では、判別率の評価指標に用いて、どの周波数帯に漏水判別に有効な情報が含まれるのかという観点から、条件毎に精度の比較を行う。なお、判別率の算出方法については、まず、上述の手

順(4)で得られた判別関数に変数(44次元の500[Hz]間隔のレベルの平均値)を代入し、各判別関数について240個の判別得点を算出する。次に、判別得点が正の値となれば「漏水あり」、負の値となれば「漏水なし」とした上で実績データと比較して、(正答サンプル数÷全サンプル数)×100を判別率とする。

金属管であるDIPの判別率比較を図-10に示す(図示は10,000[Hz]までの範囲とする)。「同一路線」における漏水量「少」と「多」(①と②)を見ると、判別率が「良い区間」と「悪い区間」の2つの区間があり、「多」(②)は「少」(①)よりも判別率が「良い区間」の範囲が若干広く、「悪い区間」においても判別率が高いと言える。一方で、別の路線における漏水量「少」(③)は、判別率が「良い区間」が見られないことがわかる。また、「同一路線」と「別の路線」(②と④)を比較すると、後者の判別率が良好な周波数領域は狭いことから、分岐による漏水音の減衰の影響を受けたと考えられる。

樹脂管であるPEにおいても、DIPと同様に、判別率比較を行った(図-11)。「同一路線」(⑤)は、判別率が「良い区間」と「悪い区間」があるのに対し、「別の路線」(⑥)は判別率が「良い区間」が存在しないことが確認される。

また、DIPとPEの判別率の比較を行うと、図-12が示す通り、DIPでは約1,000[Hz]～5,000[Hz]、PEでは約500[Hz]～1,500[Hz]において判別率が「良い区間」であると言える。DIPはPEに比べ、高い周波数帯でも判別率が良い。この結果から、「非金属管は金属管よりも振動が劣る」という漏水音の伝播特性を本分析の判別関数による評価が客観的に裏打ちしたと言える。

5. 漏水判別関数の再現性に関する検証

(1) 異なる条件で測定されたデータを代入した場合の再現性

前章4.では、判別精度が良好な場合に判別率が高くなる結果が多く見られた。しかし、得られた判別式を実フィールドでの漏水判別に応用させるためには、再現性の検証と漏水検知に「必要な情報」と「不必要な情報」との、より厳格な識別化が必要と考える。そこで、管種毎に前章4.で得られた判別関数を用いて代入判別を行い、再現性の確認と漏水判別に有効な周波数帯の特定化を試みる。前章の分析結果を踏まえ、DIPでは1,000[Hz]～5,000

表-2 代入精度の評価指標

精度のランク	判別の中率	評価
良い	90%以上	5
やや良い	50%以上90%未満	4
普通	10%以上50%未満	3
悪い	10%未満	2

表-3 DIP/1500[Hz]に関する推定・代入的中率[%]と評価

代入データ 判別関数	条件① (同一路線/ 漏水量少)	条件② (同一路線/ 漏水量多)	条件③ (別の路線/ 漏水量少)	条件④ (別の路線/ 漏水量多)
条件① (同一路線/ 漏水量少)	100.0 5	100.0 5	50.0 4	50.0 4
条件② (同一路線/ 漏水量多)	90.0 5	100.0 5	50.0 4	50.0 4
条件③ (別の路線/ 漏水量少)	25.4 3	25.4 3	63.8 4	8.8 2
条件④ (別の路線/ 漏水量多)	99.6 5	99.6 5	48.8 3	98.3 5

注)表中の対角線上にある太枠は「推定精度」を表し、それ以外の各行は異なる条件のデータを代入した場合の「代入精度」を意味する。

表-4 DIPに関する周波数帯別の総合評価

判別関数	1000Hz	1500Hz	2000Hz	2500Hz	3000Hz	3500Hz	4000Hz	4500Hz	5000Hz
①(同一路線/ 漏水量少)	18	18	18	18	16	18	18	18	18
②(同一路線/ 漏水量多)	17	18	17	17	15	17	17	17	17
③(別の路線/ 漏水量少)	13	12	11	11	12	11	11	11	11
④(別の路線/ 漏水量多)	15	18	18	17	11	17	17	17	17
計	63	66	64	63	54	63	63	63	63

表-5 PEに関する周波数帯別の総合評価

判別関数	500Hz	1000Hz	1500Hz
⑤(同一路線/ 漏水量少)	12	15	12
⑥(別の路線/ 漏水量少)	12	14	11
計	36	40	34

[Hz]、PEでは500[Hz]～1,500[Hz]の周波数帯を対象に、代入判別を行うものとする。代入判別の手順としては、まず、各条件の判別関数に他条件のデータを代入する（たとえば、条件①（DIP/同一路線/漏

水量少）の判別関数には、条件②～条件④のデータを代入）。次に、得られた判別得点に基づき漏水有無の判別を行い、判別の中率を算出する（このときの判別の中率を代入精度とする）。最後に、代入精度の良し悪しをランクで評価する観点から、表-2の評価指標により総合評価を行う。なお、代入精度の評価は5点満点として、推定精度（モデル自身を推定したデータによる判別の中率）との比較から、以下のように設定する。前掲図-10及び前掲図-11の推定精度の結果から、特に精度が良い区間は90[%]以上の上位10[%]に集中する一方、大半の結果が50[%]以上に広く分布することが分かる。したがって、代入精度においても、90[%]以上を「良い（5点）」、50[%]以上90[%]未満を「やや良い（4点）」とする。一方、モデル自身の精度を示す推定精度と比較して、異なる条件のデータの代入による代入精度の評価は相対的に低いと考えられる。そこで、代入精度の結果は、推定精度の結果が多く分布する50[%]以上の範囲よりも低い範囲において同程度に分布すると想定し、「やや良い」と等幅の10[%]以上50[%]未満を「普通（3点）」とする。そして、推定精度が特に良好な上位10[%]に対して、下位10[%]に代入精度が悪い区間があると想定し、10[%]未満を「悪い（2点）」とする。

代入判別の一例として、DIP/1,500[Hz]の場合の判別の中率とその評価を表-3に示す。同表の対角線上のセルが推定精度を意味し、各行が代入精度を示す。表-3から、推定精度は4～5点となる一方、代入精度においても条件③を判別関数とした場合と代入データとした場合を除いて4～5点となり、高い精度が得られることがわかる。

周波数領域に関する総合評価の結果を、DIPに関しては表-4に、PEについては表-5に示す。表-4から、DIPでは周波数帯による大差はつかないが、1,500[Hz]の時の評価が最も高く、合計点が66点となる。したがって、DIPにおいて501[Hz]～5,000[Hz]の中で漏水判別に有効な周波数帯を強いて挙げると、1,001[Hz]～1,500[Hz]であると言える。一方、表-5に示すPEの代入判別の結果を見ると、1[Hz]～1,500[Hz]の中で漏水判別に有効な周波数帯は、501[Hz]～1,000[Hz]であると言える。

DIP及びPE（表-4及び表-5）において各判別関数の横列の合計得点を算出し、その値が高い式（条件①及び条件⑤）を式（1）及び式（2）に示す。

$$z_1 = 221.87x_1 - 1113.21 \quad (1)$$

図-13 ノイズ除去前後比較 (条件④)

図-14 ノイズ除去前後比較 (条件⑤)

$$z_2 = 41.32x_2 - 260.21 \quad (2)$$

ただし、 z_i : 判別得点、 x_i : 周波数スペクトルにおけるレベルの 500 [Hz] 刻み平均値 ($i=1$ (条件①/1, 500 [Hz]), 2 (条件⑤/1, 000 [Hz])) とする。

(2) ノイズデータを除去した場合の精度変化

前述 3. で述べた通り、瞬間的な乱れを含むデータを除いた場合の効果の検証を行う。本分析では 3. の考え方を踏襲し、各周波数帯におけるレベルの定常性指標が「◎・○」以外のすべてをノイズデータと定義し、これらを除去した場合 (除去後) とそうでない場合 (除去前) との判別率の差を明らかにすることを目的とする。

ノイズ除去効果の出現が最も顕著である、「DIP/ 別の路線/ 漏水量多」に相当する条件④及び「PE/ 同一路線/ 漏水量少」に相当する条件⑤のノイズ除去前後の比較を、図-13 及び図-14 に示す。条件④に関して、全ての周波数帯でノイズ除去後の判別率に改善が認められる。同様の傾向は、他の条件①～③並びに条件⑥でも確認される。しかし、3, 000 [Hz] に見られる条件④の精度の局所的な落ち込みは、ノイズ除去後にも改善されていない。前掲表-4 の総合評価においても、3, 000 [Hz] の精度は他と比べて相対的に悪い点から、当該周波数帯は漏水有無の判別に対する寄与が、DIP では小さいと判断できる。

一方、条件⑤については、対照的に 3, 000 [Hz] の落ち込みが解消される結果が得られる。ただし、前掲図-11 においても示された判別率の“悪い区間”は依然として存在している。したがって、判別率の“良い区間”は、ノイズ除去の有無に関わらず、DIP に比べて狭い範囲に限定されることから、今回の分析でも「管材質」の伝播特性、すなわち「非金属管は金属管より振動が劣る」という傾向が明確化したと言える。

6. おわりに

本研究では、漏水音の振幅と周波数特性に着目して、漏水有無の判別関数の構築を行う上で必要となる漏水音の基礎的な特性について分析を行った。以下に、本研究で得られた主要な成果を述べる。

- 1) 「漏水なし」における振幅の乱れと周波数スペクトルの関係の考察から、振幅に瞬間的な乱れが生じる場合、周波数スペクトルにおいても乱れがみられることが確認された。このことから、周波数スペクトルを用いた漏水判別モデルを推定する際には、ノイズ除去の統計処理が適当であることが推測された。
 - 2) 周波数スペクトルを用いた判別分析の結果から、漏水判別において判別率が“良い区間”と“悪い区間”の 2 つの周波数領域が存在した。判別率が良い区間として、DIP では約 1, 000 [Hz] ～5, 000 [Hz]、PE では約 500 [Hz] ～1, 500 [Hz] の範囲であると言える。また、それらの良好な周波数領域は漏水量の多少、分岐点の有無といった条件毎により異なることが明らかとなった。
 - 3) 他条件のデータ (判別関数を作成するデータとは異なるデータ) を代入して得られた判別率で評価した結果、漏水判別に有効な周波数帯を特定化すると、DIP では 1, 001 [Hz] ～1, 500 [Hz]、PE では 501 [Hz] ～1, 000 [Hz] の範囲であることが示唆された。
 - 4) 周波数スペクトルにおけるレベルの定常性指標 (平均と標準偏差によるランク化) を基準としたノイズの評価を行い、ノイズデータを除去して判別分析を行った。ノイズ除去前後の精度の比較から、ノイズ除去による改善効果を確認した。
- 以上の分析結果から、周波数特性を活用した漏水判別モデルを構築する際には、判別率が良い区間を選別し、ノイズデータを除去する統計処理を行うことで、より精度の高いモデルの構築が可能であ

ると言える。ただし、本分析の結果はテストコースで得られたデータに基づくことから、広い対象範囲をもつ実フィールドでの適用では、漏水地点と録音地点の距離が長くなり、かつ多様な攪乱因子が測定データに含まれることから、不利な測定環境となる。したがって、今後はテストコース以外のデータを収集し、様々な情報に基づく判別分析モデルの検討に取り組むたいと考える。

謝辞：本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議（内閣府）の「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP；Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program）」における「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の研究成果であることを付記する。また、本研究の遂行に際し、首都大学東京 藤本泰成先生、國實誉治先生には有用なご助言をいただきましたことに、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 厚生労働省健康局：新水道ビジョン，pp. 1-2，2013.
- 2) 内閣府パンフレット：SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）2015～日本初の科学技術イノベーションが未来を拓く～，<http://www8.cao.go.jp/cstp/panhu/sip/2015/34-37.pdf>，2016 閲覧。
- 3) 東京都水道局：事業概要平成 27 年度版，第 4 章 漏水防止，pp. 80-83，2015.
- 4) 鈴木陽一，赤木正人，伊藤彰則，佐藤洋，菅本禎史，中村健太郎：音響学入門（音響入門シリーズ A-1）コロナ社，pp. 1-21，pp. 47-73，pp. 171-172，pp. 205-210，2011.
- 5) 近藤博昭，安倍裕幸：高感度センサーによる漏水調査技術開発と実用性の検証，平成 27 年度全国会議（水道研究発表会）講演集，pp. 462-463，2015.
- 6) 川上泰弘，郷戸克昌，田口佳則，田村翔，古波津潤一郎，鈴木賢一，有吉寛記：音圧データの常時監視を用いた重要管路の効率的維持管理，平成 27 年度全国会議（水道研究発表会）講演集，pp. 460-461，2015.
- 7) 押切剛伸，竹田勇介，近藤英雄：水道管漏水音の周波数解析，pp. 61-64，2007，<http://www2.lib.yamagata-u.ac.jp/you-campus/sangitan/kiyou-sangitan/13/p61-64.pdf>，2016 閲覧。
- 8) 厚生労働省：水道維持管理指針 2006（9. 送・配水施設，10. 給水装置（抜粋版）），pp. 62-72，2006.
- 9) 永田靖，棟近雅彦：多変量解析法入門，サイエンス社，pp. 99-117，2001.

(2016. 3. 22 受付)

AN ANALYSIS OF PIPELINE SENSING DATA USE FOR DETECTING WATER LEAKAGE

Wako KAWAMURA , Yasuhiro ARAI , Akira KOIZUMI ,
Toyono INAKAZU , Katsuya YOKOKAWA , Katsuhiro KAJI ,
Kenichi SUZUKI , Hiroki ARIYOSHI and Shinichi MORIYAMA

Water pipelines are infrastructure essential to our daily life. Due to extensive deterioration, breaks in pipes have become frequent. Measures to prevent pipe leakage rely on highly skilled inspection personnel who use listening sticks or similar devices to detect leaks based on the leak sounds transmitted along the road surface or at valves. It is assumed that these inspectors detect leaks based on the volume, frequency range, and timbre of the sounds. The problem is that their skills are not being passed down, as not enough highly experienced personnel have been trained to meet today's demand. Technology is needed that can substitute for their auditory skills and experience. In this study, leak sound data measured under various conditions is analyzed from the two aspects of time domain and frequency domain. First, peak values measured on a sound recorder are subject to time-series analysis. Second, the features of the frequency spectrum are analyzed using Fourier transform. The objective of this research is to obtain information useful for discrimination of water leakage sounds from other sounds. The results of the discrimination analysis indicate that the frequency domains useful for leakage detection are in the neighborhood of 1000[Hz] to 5000[Hz] for ductile iron pipes and 500 [Hz] to 1500[Hz] in the case of polyethylene pipes. The study also showed that the positioning of the sound recorder in relation to the leak location, as well as the leaking volume, affect the precision of leak detection.