

機能を計算機上で実現すれば有効な漏水検知方法とすることが可能である。

次に、動物は両耳に入ってくる音の到達時間差とその大きさの違いを利用して、音源を定位していることが実験的に分かっている³⁾。そこで、漏水点を挟むようにして漏水センサを設置し、センサ出力間の相互相関を計算することで音源定位が可能である。一方、音源特定については動物の特定方法に倣う必要はなく、音源定位された音が漏水音の特徴である。広周波数帯域音であるかどうか、定常的な音であるかどうかなどを分析すれば漏水音かどうかの判断を行うことができる。

以上のような観点から、当社は図1に示すような漏水検知方法を開発した。すなわち、水道管の2カ所に漏水センサを設置し、次のようにして漏水の有無の判定と漏水位置の特定を行う。

- (1) 水道管路を等分割する。
- (2) 音源定位アルゴリズムを用いて、分割された区間から発生している音を2つの漏水センサ出力を基に合成する（音源定位または波形合成）。
- (3) 合成された音が漏水音かどうかを上述の判断基準により判定する（音源特定または漏水診断）。

上記、波形合成と漏水診断を水道管の全ての分割区間で行えば、2つのセンサに挟まれた管路で漏水があるかどうか、またその位置がどこであるかが分かる。

例えば、図1に示す漏水が起こっていない区間①で合成された管内音波形は、漏水により発生した音ではないため上記漏水音の特徴を持たないが、漏水発生区間での合成波形は漏水音の特徴を持っている。したがって、合成波形の特徴を分析することにより漏水の有無が容易に自動判定できる。このことは、従来の相関法では漏水の有無を自動判定できなかったことと比較して、本法の大きな特長である。

3. 漏水検知システム

3.1 概要

開発した漏水検知システムの概念図を図2に示す。本システムは、管内音を収集する管内音計測部（漏水センサ）、車載パソコンをホストとする漏水診断部（アナライザ）、計測車で構成される。漏水センサを消火栓などの既存設備に取り付け、同軸ケーブルで伝送されたセンサ出力信号をアナライザで診断することにより、高速に漏水の有無と漏水点の特定を行うことができる。

なお、図3に示すように漏水センサ、同用増幅器、モデムで構成される管内音計測・伝送装置を漏水検知対象水道管に恒久的に設置し、中央の監視装置で電話回線または無線回線を通して伝送される水道管内音を分析して、広範囲の漏水を監視する固定式漏水検知システムを構築することも可能である。

3.2 システム構成

本システムは、主として下記管内音計測部と漏水診断部で構成される。

- (1) 管内音計測部
 - a. 漏水センサ

開発した漏水センサMH-1000の外観を写真1に、仕様を表1に示す。本センサは漏水音を効率的に計測するために開発したセンサで、圧電セラミックス製の受感部とそのアンプ部からなるコンパクトで高性能なセンサである。また、水道水と接触する受感部は水道設備で使用されるため、衛生面・汚染回避面で十分配慮した。

漏水センサを漏水診断時に一時的に水道管に取り付けるために、消火栓キャップを使ったアダプタを用いる。本アダプタを地下式消

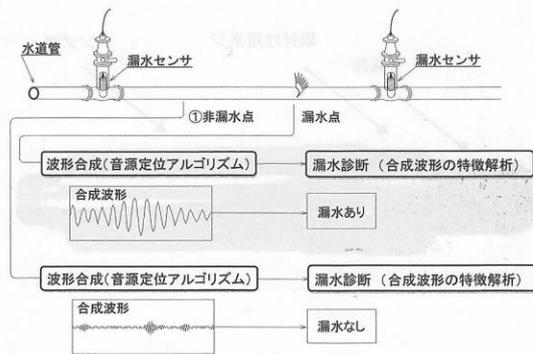


図1 漏水検知方法のフロー
Flow Chart of Our Method for Water Leak Location

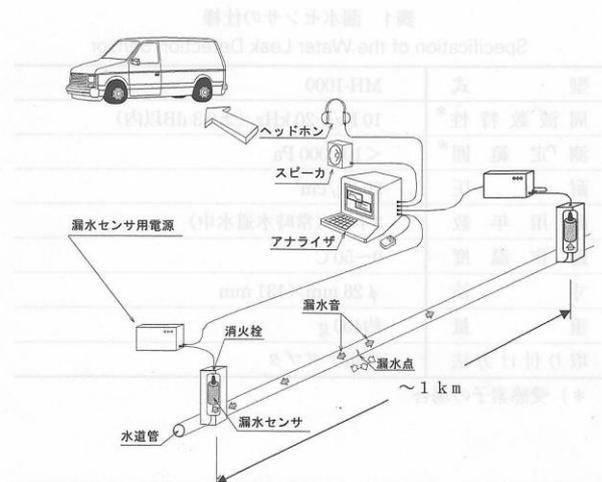


図2 漏水検知システム概念図
Concept of the Water Leak Location System

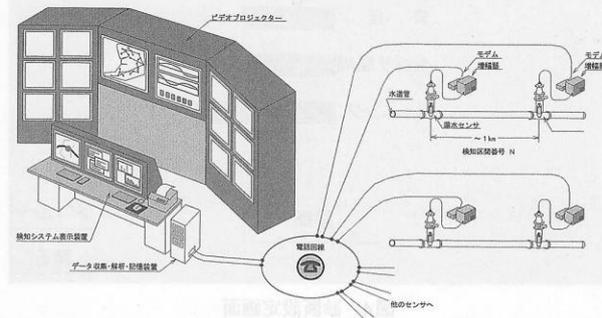


図3 固定式漏水検知システム概念図
Concept of the Centralized Water Leak Location System



写真1 漏水センサ
Water Leak Noise Detection Sensor

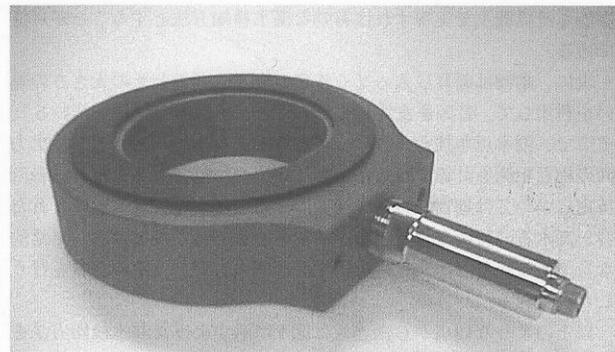


写真2 漏水センサ用アダプタ
Adapter for Water Leak Detection Sensor

表1 漏水センサの仕様
Specification of the Water Leak Detection Sensor

型 式	MH-1000
周 波 数 特 性*	10 Hz~20 kHz (±0.3 dB以内)
測 定 範 囲*	<100 000 Pa
耐 圧	20 kg/cm ²
耐 用 年 数	3年間 (常時水道水中)
動 作 温 度	0~50℃
寸 法	φ 26 mm×131 mm
重 量	約400 g
取 り 付 け 方 法	専用アダプタ

*) 受感素子の場合

火栓の放水口に取り付け、消火栓のバルブを開放することによって簡単に水道管内の音を計測することができる。また、取り外しも容易である。

漏水センサを固定的に水道管に取り付けるときには、写真2に示すアダプタを用いる。本アダプタにMH-1000を取り付け、アダプタを空気弁のフランジと仕切り弁のフランジの間に挟み込むことにより不断水で水道管に取り付けることが可能である。

b. 漏水センサ用電源
本電源は漏水センサ用アンプへの給電を行う。フィールド計測への対応と耐雑音性を考慮してバッテリー式とした。

c. 信号ケーブル
漏水センサの出力信号を伝送するために使用する。

(2) 漏水診断部
a. パソコン
漏水診断、診断結果の記録、診断結果の印刷を行う。
b. 中継器
漏水センサの出力信号を中継して、センサ出力をA/D変換器に供給するための中継器である。耐雑音性を向上させるためにライントランスを介して信号を伝送する。
c. A/D変換カード
パソコン内蔵型の汎用A/D変換カードで、漏水センサからのアナログ信号をデジタル信号に変換する。分解能12ビット、最大サンプリング周波数100kHzである。

d. プリンタ
診断結果や各種情報を印刷する。
e. ヘッドホン、スピーカ
計測時に管内音をモニターするために使用する。

3.3 機 能
写真3に漏水診断用アナライザWaltz21とその起動画面を示す。本アナライザは機能を限定し、更にWindows NT上で稼動するユーザフレンドリなインタフェースにより操作性を高めているため、現場にて簡便に漏水を診断することができる。

Waltz21の機能は、写真3下部のアイコンで示している漏水診断機能と既に診断した結果を再生する再生機能に大別できる。以下、Waltz21の主要な機能を示す。

(1) 漏水診断機能
a. 漏水診断機能
図1に示したフローに従い漏水診断を行う機能である。写真3の起動画面で「診断」を選択すると図4に示すパラメータ入力画面が現れる。この画面で、「区間番号」を指定すればあらかじめデータベース化された管種や管径などのパラメータが設定され漏水診断の

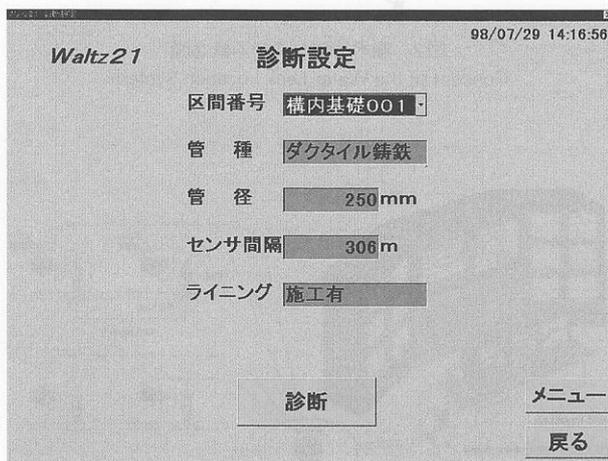


図4 診断設定画面
A Screen Example of Setting for Water Leak Diagnosis



写真3 アナライザ

Water Leak Location Analyzer

準備が完了する。区間番号がなければ、その場でデータベースを作成する。この後「診断」ボタンを選択すればデータ収集と漏水診断を行い、図5に示す診断結果を表示する。データ収集と診断に要する時間は対象により異なるが、平均的には3分程度である。

診断結果画面の表示項目は、図5に示すように漏水の有無、漏水位置、推定漏水量である。推定漏水量は合成した波形の強度を基に推定した漏水量である。また、参考情報として漏水位置を図示すると同時に区間番号なども表示する。漏水点が複数個ある場合は各々に対して漏水位置と推定漏水量が表示される。

なお、診断結果画面の右端の「再診断」ボタンを選択すれば、図4のパラメータ入力画面が現れ再度漏水診断を行うことができる。

b. 保存機能

計測された管内音データと漏水診断結果を保存する機能である。診断結果画面の右に表示されている「保存」ボタンを選択することにより、管内音データ、漏水の有無、漏水点、推定漏水量などが光磁気ディスクに記録される。

c. 印刷機能

漏水診断結果を付属のプリンタに印刷する機能である。診断結果画面の右に表示されている「印刷」ボタンを選択することにより図5に示す診断結果が印刷される。

d. 漏水診断用データベース管理機能

検査対象区間の管長や管材質などのデータベースを管理するための機能である。これらのデータベースを利用することにより定期的

な巡回検査の効率を高めることができる。

(2) 再生機能

再生機能は、既に診断を行い保存機能により光磁気ディスクに記録された診断結果を、画面上で確認するための機能である。写真3の下部の「再生」アイコンを選択することにより図6に示すメニュー画面が現れる。区間番号と診断時期を指定することにより、その区間で指定した時期に保存されたデータの診断日時と診断結果リストが表示される。診断結果リストから参照したい診断ケースを指定して「読込」ボタンを選択すると、図5の漏水診断結果画面が表示される。

3.4 基本性能

本システムの基本性能を表2に示す。ここで、診断対象の管種、管径などが大幅に変化するため、性能には幅を持たせている。

4. 漏水検知システムによる漏水検知実施例

開発した漏水検知システムを用いて実施した漏水検知結果を表

表2 漏水検知システムの基本性能
Basic Performance of the Water Leak Location System

センサ間距離	10~1000 (m)
漏水点特定精度	10~30 (cm)
最小検知漏水量	1~2 (1/min)
診断時間	1~5 (min)
センサ取付け方法	消火栓、空気弁、分水栓
検査対象管	铸铁管、ダクタイル铸铁管、塩ビ管

表3 単数漏水検知例
Examples of Single Water Leak Location Detected by Using the Present System

管材質	配管種別	管径 (mm)	センサ間距離 (m)	第1センサと漏水点の距離 (m)	最低検知漏水量 (1/min)	位置特定精度 (m)
ダクタイル铸铁	工業用水管	250	305	206	4	0.2
ダクタイル铸铁	配水管	100	368	217	1	0.2
铸铁	送水管	1100	606	304	18	0.1
塩化ビニール	配水管	75	212	106	4	0.2
ダクタイル铸铁	給水管	100	75	55	5	0.2
ダクタイル铸铁	給水管	300	186	37	10	0.2

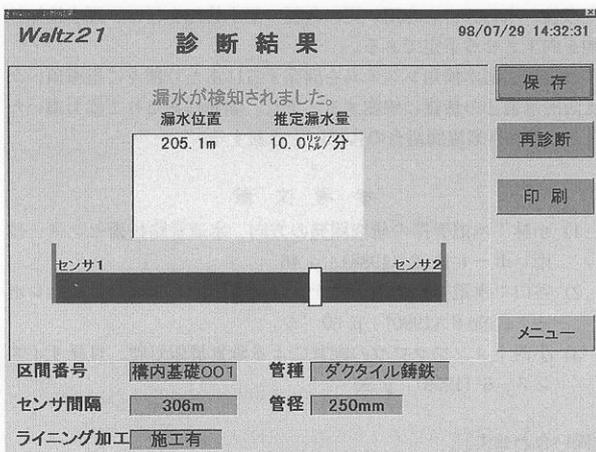


図5 診断結果表示画面

A Screen Example of Water Leak Diagnosis Result

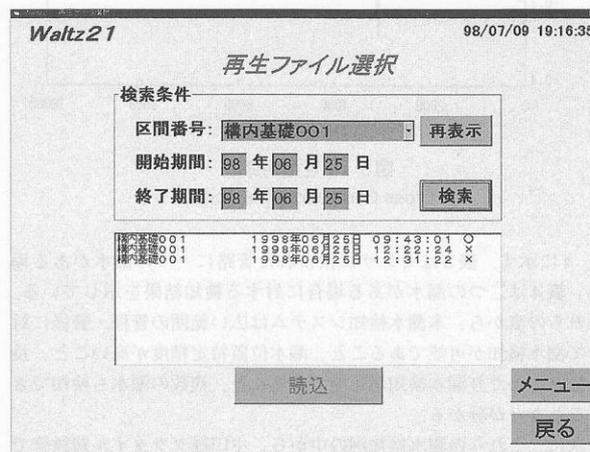


図6 再生ファイル選択画面

Menu Screen for Selecting File Reproduction

表4 複数漏水検知例

Examples of Multiple Water Leak Locations Detected by Using the Present System

管材質	配管種別	管径(mm)	センサ間距離(m)	第1センサと漏水点の距離(m)	最低検知漏水量(1/min)	位置特定精度(m)
ダクタイル鋳鉄	給水管	100	183	55	5	0.2
				75	5	0.6
ダクタイル鋳鉄	給水管	300	186	37	10	0.0
				69	20	0.3

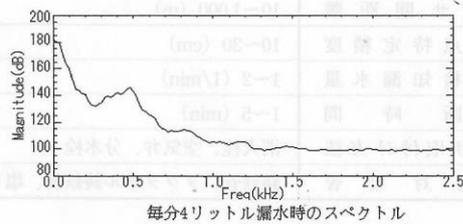
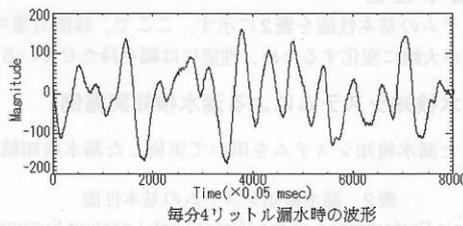


図7 漏水音の波形とそのスペクトル
Waveform and Spectrum of Water Leak Noise

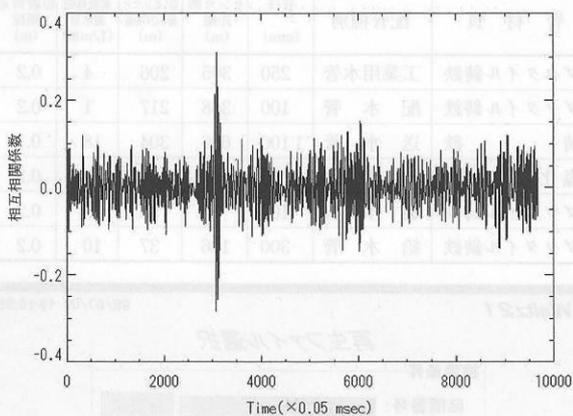


図8 相互相関係数
Cross Correlation Coefficient

3, 4に示す。表3はセンサに挟まれた管路に一つの漏水がある場合、表4は二つの漏水がある場合に対する検知結果を示している。これらの表から、本漏水検知システムは広い範囲の管種・管径に対して漏水検知が可能であること、漏水位置特定精度が高いこと、長い管路にわたり漏水検知が可能であること、複数の漏水も検知できることなどが分かる。

次に、これらの漏水検知例の中から、中口径ダクタイル鋳鉄管での漏水検知例を示す。写真4に対象とした工業用水管の敷設状況を示す。対象とした管は地上に敷設されたダクタイル鋳鉄管で、呼び



写真4 工業用水管敷設状況

An Industrial Water Pipeline Used for Testing Water Leak Location

径250mmである。漏水センサ間距離は305mで、第1センサから206mの点で空気弁により擬似漏水を発生させた。

図7に毎分4リットルの漏水を発生させたときの計測波形とそのスペクトルを示す。図8に示す従来の相関法による相関係数では漏水があるのかどうか、漏水が複数個かどうかなどを判断するには専門的な知識を必要とするが、当社の漏水検知システムではこれらの判断が自動的に行われるので図5に示すように漏水の有無及び漏水位置の特定が明瞭にできる。

5. あとがき

現在、水道事業体で強く求められている上水道の漏水検知システムを実現するために、動物の聴覚機能を模擬した漏水検知方法と、漏水音を効率的に収集することができる専用の漏水センサからなる新しい漏水検知システムを開発した。そして、開発したシステムを用いて各種の漏水検知を行い、本システムが以下のような性能を有することを実証した。

- (1) 長距離にわたって高速に漏水の有無を自動判定できる。
- (2) 漏水位置を±30cm以内という高い精度で特定できる。
- (3) 従来法では検知できない大口径管の漏水を検知できる。
- (4) 鋳鉄管や塩ビ管など幅広い管種に適用できる。
- (5) 漏水検知精度が高く、漏水の早期発見が可能である。
- (6) 複数漏水を検知することが可能である。

今後、本システムを用い更に各種の漏水検知を行い、漏水検知性能を向上させる予定である。

最後に、漏水検知システムを開発するにあたり種々ご指導頂いた大阪府水道部の皆様に感謝する。また、開発にあたりご協力頂いたH&B工法事業協同組合の皆様にも感謝する。

参考文献

- 1) 小林：水道管路の研究開発の方向、水道管路技術センター技術レポートNo.2 (1988), p. 46
- 2) 谷口：水道管路の漏水防止、水道管路技術センター技術レポート, No.8 (1990), p. 60
- 3) 小西：メンフクロウの両耳による聴覚情報処理、日経サイエンス, 6 (1993), p. 90

[問い合わせ先]

機械・システム事業本部 エンジニアリングセンター 技術部
TEL 0863 (32) 5480 坪井 桂一