

## 機械学習による漏水現象の同定に用いる弾性波パラメータの選定 Selection of Elastic Wave Parameters for Leak Detection by Machine Learning

○五十嵐司\*, 島本由麻\*\*, 鈴木哲也\*\*\*

○Tsukasa IKARASHI\*, Yuma SHIMAMOTO\*\* and Tetsuya SUZUKI\*\*\*

### 1. はじめに

上水道に代表される内水圧を利用した送配水パイプラインでは、老朽化に伴い漏水事故が発生する。漏水現象の同定には、主に弾性波法が用いられている。既存の方法として、複数のセンサを用いた漏水位置の挟み込みによる同定があげられるが作業者の負担は大きい<sup>1)</sup>。本報では、単一センサによる1地点での漏水現象同定の検討結果を報告する。本検討では Acoustic Emission (AE) 波を機械学習することで漏水現象の有無を判別し、判別に有効な AE パラメータを選定した。

### 2. 実験・解析方法

モデルパイプライン (Fig. 1) にて漏水現象の精密同定を試みた。横配管を付け替えることで損傷管 (漏水孔直径 1, 3, 5 mm) と無損傷管にて排水実験を行い、排水時に発生する AE を計測した。AE センサおよび漏水孔の位置を Fig. 2 に示す。使用した AE センサは3種類で、ch1, 4, 5, および 8 は 150 kHz 共振型 (R15 $\alpha$ )、ch2 と 6 は 60 kHz 共振型 (R6 $\alpha$ )、ch3 と 7 は 30 kHz 共振型 (R3 $\alpha$ ) である。水槽に地上 4 m まで水を溜め、モデルパイプラインから排水させた。実験時、損傷管 (漏水孔直径 1 mm) にて計測された波形データと、無損傷管にて計測された波形データを Fig. 3 に示す。連続波が計測されており、振幅値を比較すると損傷管の波形の方が振幅値は大きい。漏水有無の判別には Support Vector Machine (SVM) と決定木、ラン



Fig. 1 モデルパイプラインにおける実験状況  
Experimental situation in model pipeline

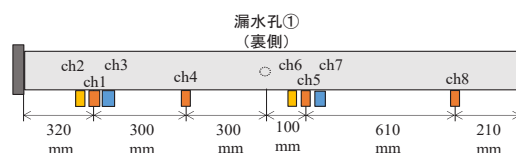


Fig. 2 センサ配置図  
Arrangement of AE sensors

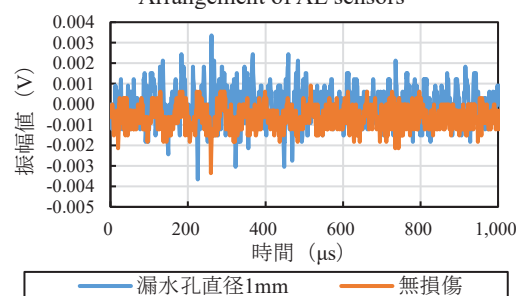


Fig. 3 計測された AE 波形  
Detected AE wave

ダムフォレストを用いた。判別に用いる AE パラメータは、ピーク周波数、平均周波数、重心周波数、カウント、最大振幅値、信号継続時間、立ち上がり時間および式 (1) にて求められる実効値電圧 (RMS) とした。

$$V_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{\int_0^{T_d} V(t)^2 dt}{T_d}} \quad (1)$$

\*株式会社本間組 (旧新潟大学農学部) Honma Corporation

\*\*東京農工大学大学院農学研究院 Institute of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

\*\*\*新潟大学自然科学系 (農学部) Faculty of Agriculture, Niigata University

キーワード: パイプライン, 漏水現象, 弾性波計測, 非破壊検査, 機械学習

ここで、 $V_{RMS}$ ：実効値電圧、 $T_d$ ：信号継続時間である。判別結果の精度評価指標は正解率、再現率、適合率およびF値を用いた。

### 3. 結果および考察

損傷管および無損傷管にて計測されたデータを用いて、機械学習による漏水有無の判別を行った。学習器はSVM、決定木およびランダムフォレストとし、データサイズは訓練用データを70、テスト用データを50とした。Table 1に混同行列より求めたF値を示す。学習器を比較すると、SVMに比べ決定木およびランダムフォレストにて高い精度が確認された。漏水孔直径ごとに比較すると、孔が大きい場合に判別精度が高くなることが確認された。センサタイプごとに比較すると、R3 $\alpha$ がセンサ位置および孔直径に関わらず精度が高いことが確認された。決定木およびランダムフォレストにおいて、判別の際に有効であったパラメータを重要度にて特定した。Table 2に損傷管の孔直径1mm時と5mm時のランダムフォレストによる判別の際、最も重要度が高かったパラメータを示す。孔直径1mmのときピーク周波数(P-FRQ)が、5mmのとき実効値電圧(RMS)が高い重要度を示すことが確認された。RMSは連続型AE信号に対してAE発生率を評価できる指標であり、漏水の検定によく用いられる。漏水量とRMSの増加量に相関があることが報告されていることから<sup>2)</sup>、孔が大きくなり漏水量が増大した事によってRMSが卓越し、高い判別精度が得られたと考えられる。

### 4. おわりに

本報ではAE法と機械学習を用いて、モデルパイプラインにおける単一センサによる漏水現象有無の判別を試みた。その結果、高い判別精度が確認され、判別に有効なAEパラメータが選定された。このことから、単一

**Table 1** 漏水有無の同定における精度 (F 値)  
Accuracy in leak identification

	漏水直径1 mm		
	線形SVM	決定木	ランダムフォレスト
ch1(150 kHz)	0.33	0.73	0.81
ch2(60 kHz)	0.33	0.63	0.60
ch3(30 kHz)	0.33	0.71	0.70
ch4(150 kHz)	0.33	0.87	0.89
ch5(150 kHz)	0.33	0.89	0.89
ch6(60 kHz)	0.33	0.65	0.60
ch7(30 kHz)	0.33	0.92	0.89
ch8(150 kHz)	0.39	0.64	0.70
	漏水直径3 mm		
	線形SVM	決定木	ランダムフォレスト
ch1(150 kHz)	0.33	0.74	0.71
ch2(60 kHz)	0.33	0.55	0.65
ch3(30 kHz)	0.62	0.89	0.90
ch4(150 kHz)	0.33	0.92	0.89
ch5(150 kHz)	0.33	0.99	1.00
ch6(60 kHz)	0.33	0.91	0.92
ch7(30 kHz)	0.33	0.78	0.79
ch8(150 kHz)	0.64	0.58	0.66
	漏水直径5 mm		
	線形SVM	決定木	ランダムフォレスト
ch1(150 kHz)	0.33	0.89	0.92
ch2(60 kHz)	0.33	0.79	0.73
ch3(30 kHz)	0.36	0.97	0.91
ch4(150 kHz)	0.33	0.93	0.94
ch5(150 kHz)	0.49	0.99	0.97
ch6(60 kHz)	0.64	1.00	0.99
ch7(30 kHz)	0.73	1.00	0.99
ch8(150 kHz)	0.33	0.63	0.76
0.90以上		0.89~0.70	0.70未満

**Table 2** 最も重要度の高いパラメータ

Most important parameters

訓練用 データ : 70	ランダムフォレスト	
	1 mm	5 mm
ch1	RMS(0.30)	P-FRQ(0.47)
ch2	P-FRQ(0.20)	RMS(0.25)
ch3	P-FRQ(0.26)	RMS(0.41)
ch4	P-FRQ(0.38)	RMS(0.35)
ch5	RMS(0.61)	RMS(0.38)
ch6	P-FRQ(0.25)	C-FRQ(0.27)
ch7	RMS(0.56)	DURATION(0.57)
ch8	P-FRQ(0.23)	P-FRQ(0.22)

センサによって漏水現象の同定が行える可能性が示唆された。

### 引用文献

- 1) 小林健二：音・振動による診断工学，コロナ社，pp. 121-123，2000.
- 2) (一社)日本非破壊検査協会：アコースティック・エミッション，pp. 163-164，1990.