

ばっ気音の周波数を指標とした地下流水音探査方法の定量評価

株式会社ウエスコ ○田山 良一、伊達 裕樹

1. はじめに

地下流水音探査とは、地下で水が流れた時に発せられるばっ気音を地面に設置したピックアップセンサーでとらえ、D 値（代表値）と呼ばれる音の大きさを計測し、その音の強い場所を探すことで地下の水が流れる場所（水みち）を特定する探査手法である。水みちを特定する探査手法には、ボーリング、電気探査、地温探査などがあるが、探査を実施するにあたっては多額の費用と労力および時間が必要となる。一方、地下流水音探査は、これらの手法よりも簡易で安価に行えることから、水みちを特定する新たな手法として利用されている技術である。

地下の流水音の判別は、熟練技術者でない人でも水みちを特定できるようにと開発され、平成 25 年に販売が開始された地下流水音測定装置を用いて行われる。この装置によって、地下流水音の測定は容易となった。しかし、実際の測定においては、風などのノイズが大きく影響し、水みちを明確に特定するにあたって、初心者では判断しにくいという問題がある。

そこで今回は、地下流水音測定装置を用いた探査において、より明確に水みちを判別する手法の確立を目指し、iPad 用の周波数解析アプリを使用して地下水の流下位置と深さを定量的に評価した結果を報告する。

2. 周波数解析アプリを使用した地下流水音の測定方法と調査対象

2.1 測定機器の構成

周波数解析アプリを使用する際の機器構成は、通常の地下流水音測定装置の構成のうち、ヘッドホンの代わりに iPad をオーディオケーブルで接続する（図 2.1）。その際、測定記録器と iPad の間にマイクインターフェースを接続する。また、iPad には事前に周波数解析アプリの（株）e-skett の「e-scope 3in1（有償）」をインストールしている。表 2.1 に測定機器の一覧を示す。

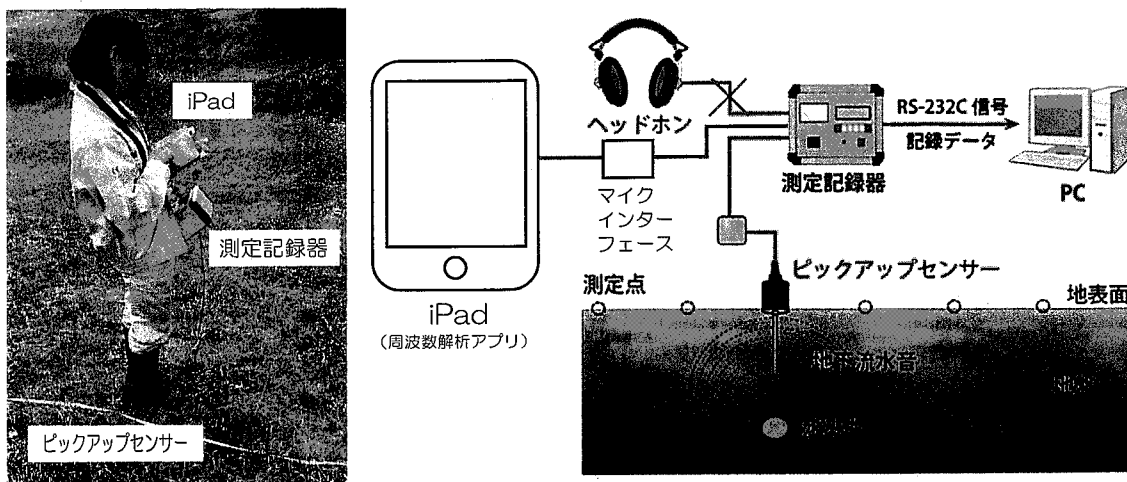


図 2.1 地下流水音の測定¹⁾（一部加筆・修正）

表 2.1 測定機器一覧表

	名称	製造・開発元
地下流水音測定装置	① ピックアップセンサー	株式会社拓和
	② 測定記録器	〃
	③ ヘッドホン	〃
オーディオケーブル	ClassicPro オーディオ・ミキサケーブル	PAPILIO
マイクインターフェース	TASCAM iXZ	ティアック株式会社
タブレット端末	iPad	Apple Inc.
周波数解析アプリ	e-scope 3in1	株式会社 e-skett

2.2 周波数波形の特徴と周波数解析アプリを用いた測定方法

1) 周波数波形の特徴

周波数を指標とするにあたって、地下流水音にどのような特徴があるか把握するため、(株)拓和のホームページに掲載されている地下流水音を、周波数解析アプリのFFTアナライザ(フーリエ解析)の画面で表示させた(図2.2)。

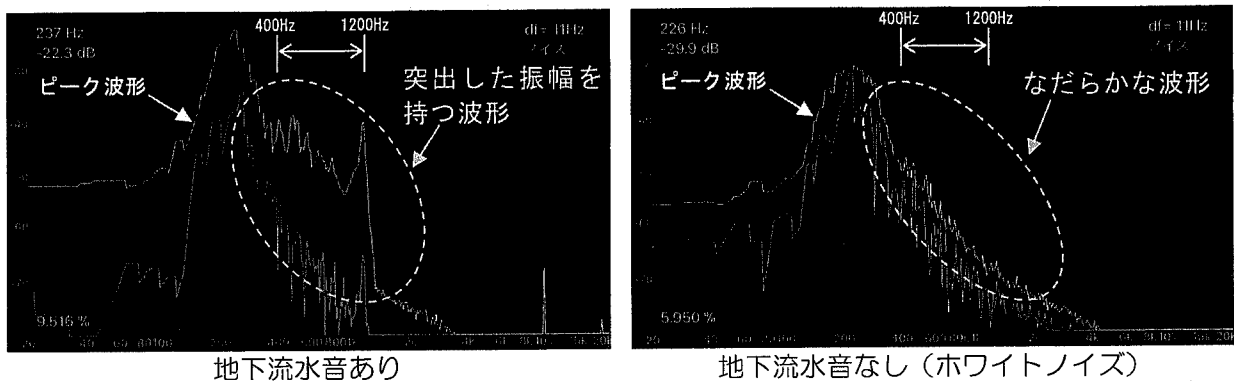


図 2.2 地下流水音とホワイトノイズの周波数波形

両者の波形を比較すると、地下流水音には、400~1200Hz程度の領域で突出した振幅を持つ波形が見られた。過去の実績では、地下流水音の主な周波数範囲は、200~1500Hz程度とされており、この特徴的な波形が地下流水音を示しているものと考えた。

2) 周波数解析アプリを用いた測定方法

ア) 測定手順

現地での地下流水音の測定は、以下に示す手順に従って行い、FFTアナライザ画面を記録した。また、比較のため、通常の計測方法でD値の測定も行い、1地点あたり10個の値を記録した。

【手順①】 通常の方法と同様にピックアップセンサーと測定記録器をセットする

(測定記録器の周波数フィルターは、ローカットフィルターを300Hz、ハイカットフィルターを1200Hzに設定し、増幅度のAMP設定は5とした)

【手順②】 周波数解析アプリのFFTアナライザ画面を表示させる

(アプリの分解能は、突発的な音の記録を避けるため、一番低い分解能とした)

【手順③】 アプリのピーク保持ボタンをONにし、約5秒待ってから画面コピーをする

【手順④】 この作業を10回繰り返す、1地点あたり10個の周波数波形を取得する

イ) データ整理方法

現場で取得した周波数波形は、室内で各周波数の dB 値を読取った。読取りを行う周波数は、地下流水音の特徴的な波形を示す周波数領域である 400Hz、600Hz、800Hz、1000Hz、1200Hz 付近とした。また、ホワイトノイズの影響を考慮するための仮基準として、1200Hz 付近の特徴的な波形が始まる変化点の dB 値を読取った (図 2.3)。

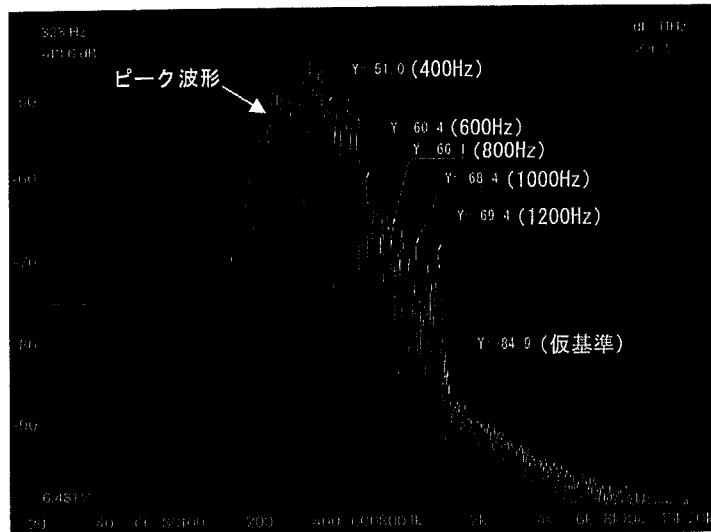


図 2.3 室内における各周波数の dB 値の読取り例

2.3 調査対象

今回の試行実験は、おおよその地下水の流下位置と深さが分かる造成盛土地盤を対象として実施した。この造成盛土は、盛土内に地下水が上昇しないように、旧地盤面に地下排水工が設置されている。今回は、この地下排水工を流れる地下水を水みちと仮定し、周波数ごとの振幅と地下水の流下位置と深さの関係を調査した。測定は、盛土のり面に測線を設定し、2m ピッチで計測点を設け、周波数の測定を行った。探査測線は図 2.4 に示す測線 D、測線 L、測線 P とし、それぞれ地下排水工までの深さは約 2.7m、約 5.3m、約 8.0m と異なる深度となる様に設定した。

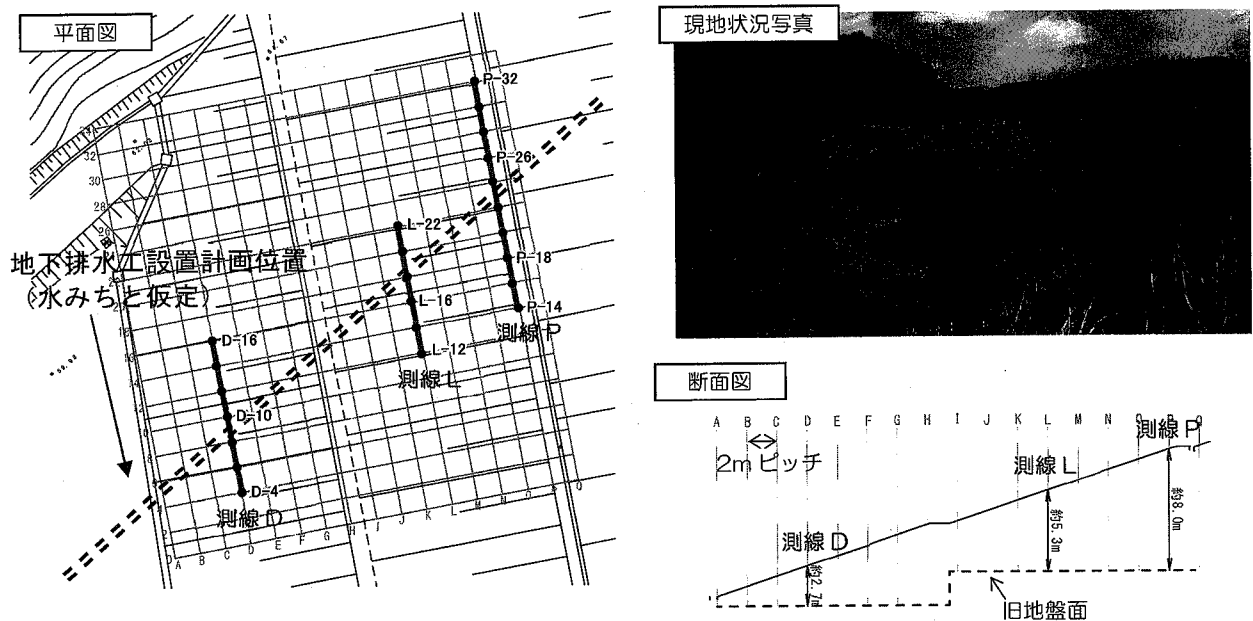


図 2.4 今回の試行実験における探査測線と地下排水工までの深さ

3. 周波数解析アプリを使用した地下流水音の測定結果

3.1 周波数波形の測定結果(風の弱い日の場合)

測線 P を例に、周波数解析アプリを使用した地下流水音の測定結果を示す (図 3.1)。また、同時に測定した D 値も合わせて示す (図 3.2)。

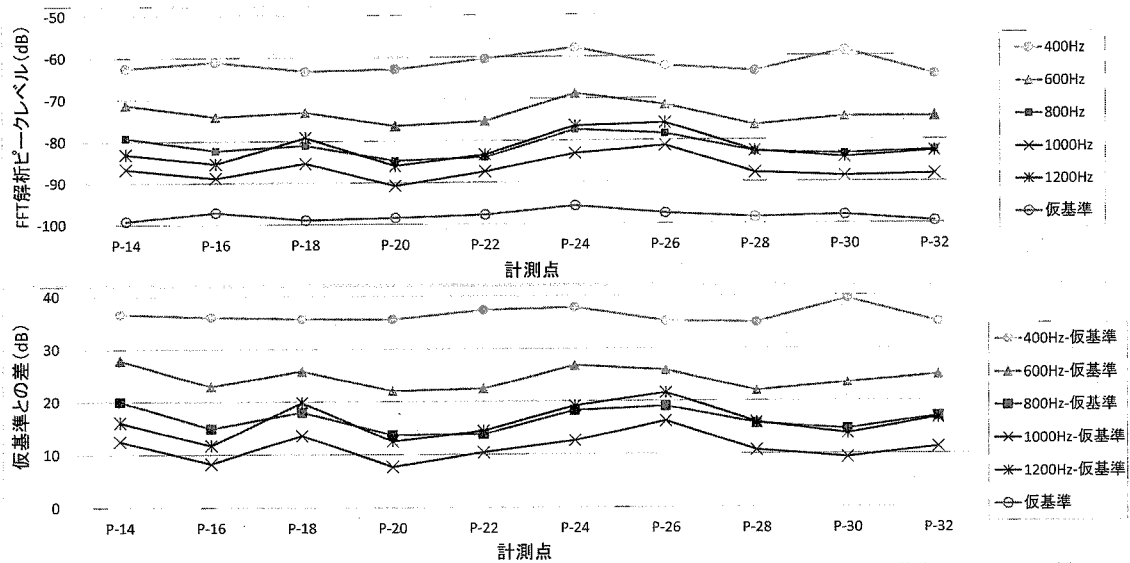


図 3.1 周波数解析アプリを使用した地下流水音（ピークレベル）の測定結果（測線P）

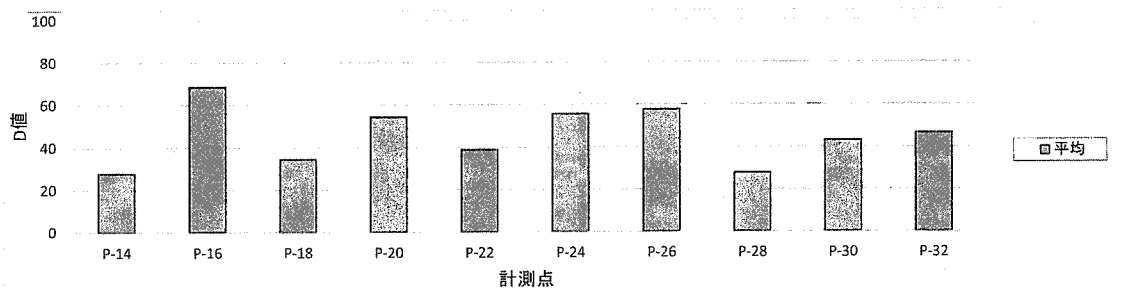


図 3.2 通常の方法による地下流水音（D 値）の測定結果（測線P）

測定結果は、以下に示す通りまとめられる。

- ・周波数解析アプリによるピークレベルをみると、P-18、P-26 にピークが認められる
- ・仮基準との差の値を用いると、ピークが明瞭となる傾向がみられる
- ・400Hz と 600Hz の値は、800～1200Hz に比べてピークが不明瞭となっている
- ・D 値では P-16、P-20、P-26 にピークが認められ、周波数解析と異なる傾向となっている

3. 2 風の強い日における測定結果と風の弱い日における測定結果の比較

同じ測線において、風の強い日（気象庁予測で風速 2～4m/s）と風の弱い日（気象庁予測で風速 0～1m/s）に測定した結果を比較する（図 3.3）。

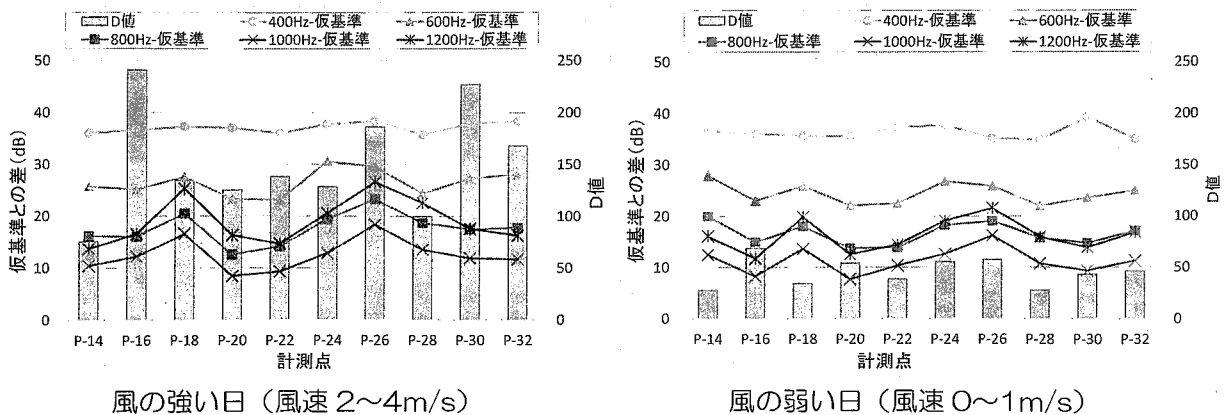


図 3.3 風の強弱による測定結果の対比

表 3.1 気象庁風力階級表（ビューフォート風力階級表）²⁾（一部抜粋）

風力	相当風速 (m/s)	陸上の様子	
0	0.0 から 0.3 未満	静穏。煙はまっすぐ昇る。	
1	0.3 以上 1.6 未満	風向きは煙がなびくのでわかるが、風見には感じない。	
2	1.6 以上 3.4 未満	顔に風を感じる。木の葉が動く。風見も動き出す。	
3	3.4 以上 5.5 未満	木の葉や細かき小枝がたえず動く。軽く旗が開く。	

比較結果は、以下に示す通りまとめられる。

- ・周波数解析アプリによるピークレベルをみると、風の強い日と風の弱い日のピーク位置は変わらず、再現性が認められる
- ・風の強い日は、気象庁風速階級の風力 2～3 に相当し、このレベルの風力でも測定が可能である
- ・風の強い日の D 値は、風の弱い日に比べて約 3～4 倍の値となっており、風の弱い日のピーク位置と異なっていることから、風の影響を大きく受ける傾向となっている

3.3 周波数解析アプリを使用した測定結果のまとめとその有効性

周波数解析アプリを使用して地下流水音の測定を行った結果、測定値に明確なピークが認められ、その再現性も確認された。これにより、D 値では水みちのピークが判断しにくい場合でも、周波数解析アプリを使用した測定により、水みちの位置を判断できる可能性が示唆された。また、従来の測定方法よりも風の影響を受けにくく、仮基準からの差を求める補正が有効であることが判った。さらに、周波数の高い方（800～1200Hz）が水みちの位置を良く示している傾向がみられた。

4. 周波数波形のピークレベル（dB 値）と水みちからの距離の関係

地下水流下深度の異なる 3 測線で測定を行い、水みちからの距離と地下流水音の値の関係性を検討した。図 4.1 に、3 測線の測定結果を示す。また、水みちからの距離と地下流水音の値の関係性については、仮基準と 1200Hz の差による dB 値が、水みちからの音の減衰傾向を良く示していることから、この周波数の値に着目して作図した（図 4.2）。なお、作図にあたっては、水みちを示すピーク地点とその左右 2 地点ずつの値（図 4.1 の丸い破線で示す値）を用いた。

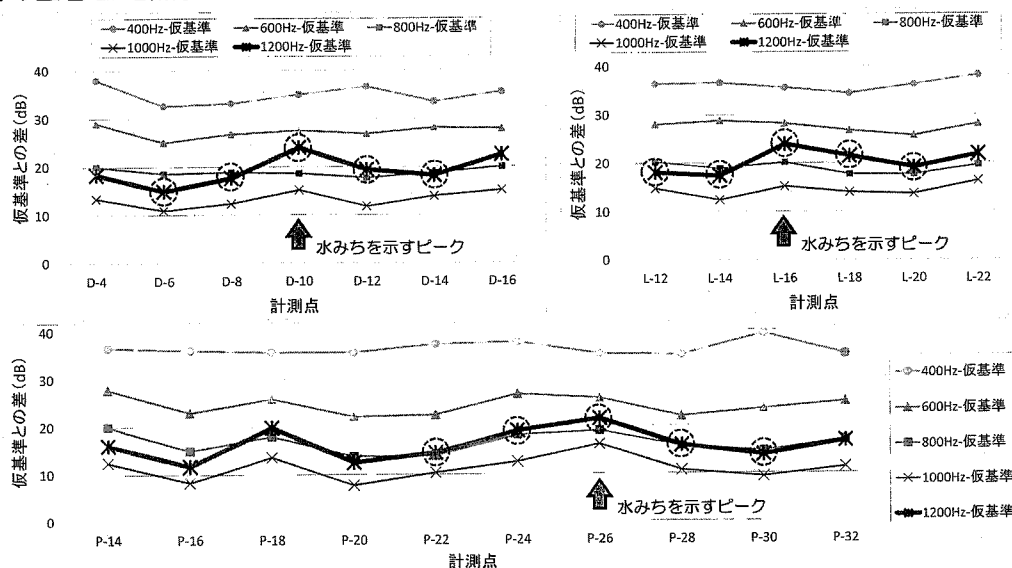


図 4.1 周波数解析アプリを使用した地下流水音の測定結果（測線D、測線L、測線P）

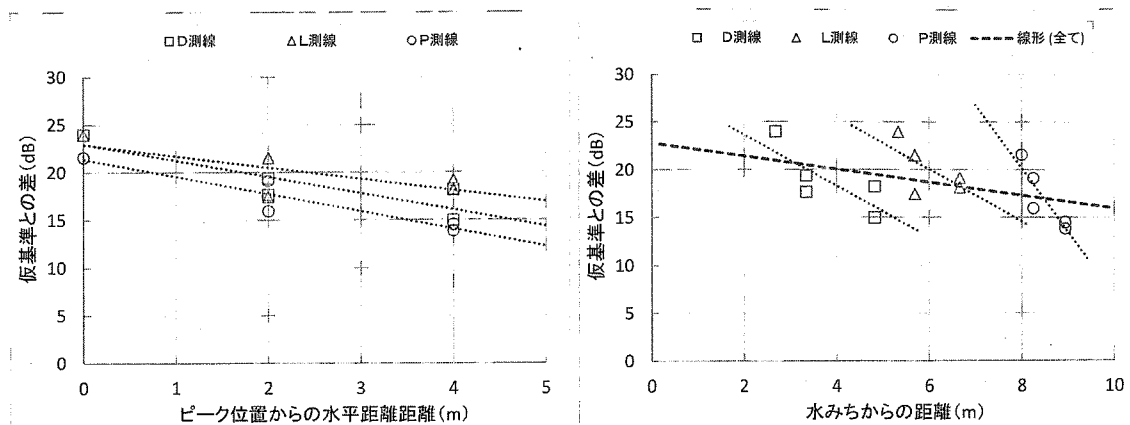


図 4.2 水みちからの距離と 1200Hz の地下流水音 (dB 値) の関係

図 4.2 のピーク位置からの水平距離と dB 値の関係をみると、ピーク位置から離れるに従って音が減衰するため dB 値が小さくなり、ピーク位置から 1m 離れるごとに音が約 1.2~1.8dB 減少する傾向となっている。また、図 2.4 の断面図で推定される水みちの深さから求めた水みちからの距離と dB 値の関係をみると、同様に水みちから離れるに従って dB 値が小さくなり、水みちから 1m 離れるごとに D 測線及び L 測線では約 2.7dB 減少し、P 測線では約 6.6dB 減少する傾向となっている。全ての値を用いた近似線を見ると、相関関係は明瞭では無いが、全体的にも水みちから離れるに従って dB 値が小さくなる傾向がみられる。今後データ数を増やすことにより、周波数解析アプリを用いて測定した dB 値から、水みちの深さを推測する方法の確立が期待できる。

5. 今後の課題と発展性

1) 課題

- ・測定事例を増やし、更なる再現性を確認する（盛土地盤と自然地盤の違い、地質による違い、複数の水みちが存在する場合、ピーク位置で実際に掘削して水みちを確認）
- ・測定手順とデータ整理方法の簡素化及び標準化

2) 発展性

- ・アプリの改良による作業性の向上（各周波数の dB 値を自動で読取り記録するなど）
- ・測定装置の改良による取得データの精度の向上（ノイズ低減を目的としたピックアップセンサーのコードレス化、多点同時測定機能など）

6. おわりに

従来の地下流水音探査方法に対し、今回、新たな視点による評価方法を検討した結果、周波数別のピーク値を指標とすることにより、水みちの位置を判別し易くできる可能性を見出すことが出来た。今後、多くの事例が増えることでさらに発展し、初心者でも手軽に利用できるようになることで、水みちを特定する上で重要なツールとして確立できると期待する。地質調査には、まだまだ不明確なものや技術開発が期待できるものが多くある。今回の様に、身近にある iPad を使うなど、難しい機器を開発しなくても、問題を解決して技術を発展させていくことは可能であり、今後も楽しみながら地質調査に携わって行ければと思う。

—以上—

- 《参考文献》 1) 株式会社拓和ホームページ 地下流水音測定装置
2) 気象庁ホームページ 気象観測ガイドブック