

弾性波速度の周波数分散を利用した岩盤探査技術に関する研究（2）

電源開発（株） 正会員 奥村 裕史 伊藤 孝 多田康一郎
 京都大学大学院 正会員 大西 有三 西山 哲 矢野 隆夫
 開発設計コンサルタント 石橋 啓一

1. はじめに

弾性波速度の周波数分散を利用した岩盤探査とは、ボーリング孔間において複数の異なる周波数で測定された走時データから、水で満たされた岩盤中の P 波（疎密波）速度の分散周波数を調べ、Biot 理論を用いて広域透水場を求めようとする技術である。当該技術は、「二酸化炭素にの地下貯留」および「高レベル放射性廃棄物の地層処分」等において非常に有効なものであるが、現時点では確立された計測手法はない。特に、数十 kHz の高周波数 P 波を使用することから伝播中の減衰が著しい上に、高出力を出すことが不可能であるため、受信点で鮮明な波形を捕らえることが非常に難しい。本研究ではこれらの問題に対し、様々なパラメータを変化させて計測し、受信波形から成果と課題を記すものである。

2. 計測機器および計測場所

試験機器は図 1 に示すとおりである。計測は、電源開発新豊根発電所（愛知県北設楽郡豊根村大字古真立）内の換気トンネルに 20.16m 間隔で 66 のボーリング孔を削孔したものを利用した。計測場所周辺は岩級区分 B 級および CH 級の花崗岩であり、一部に CM 級が存在し変質および破碎帯状を呈する部分がある。



図 1 計測機器

3. 計測ケース

計測において変化させるパラメータは、発信波周波数（ケース A）、受信波スタック数（ケース B）、発受信点深度（ケース C）の 3 種類である。計測ケースを表 1 に示す。発受信点深度については、両孔が孔口まで地下水で満たされていたことから深度 = 水深であり、計測場所である換気トンネルが斜坑であったことから孔口は発信側が 6m 程度高くなっている。また、D - 1 は試験的に 30kHz の波を用いて計測したものである。

表 1 計測ケース

ケース名	発信波周波数	スタック数	発受信点深度 (発 - 受)	発信波サイクル数	発信波電圧	サンプリング速度	備考
A - 1	5kHz	10,000 波	26m - 20m	10 波	360V	1MS/s	
A - 2	10kHz						
A - 3	15kHz						
B - 1	15kHz	1,000 波	26m - 20m	10 波	360V	1MS/s	
B - 2		10,000 波					
B - 3		100,000 波					
C - 1	10kHz	5,000 波	26m - 20m	10 波	360V	1MS/s	
C - 2			21m - 15m				
D - 1	30kHz	700,000 波	26m - 20m	40 波	190V	1MS/s	

キーワード 広域透水場、高周波数 P 波、スタック数、計測の自動化

連絡先 〒253-0041 神奈川県茅ヶ崎市茅ヶ崎 1 - 9 - 88 電源開発(株)茅ヶ崎研究所 TEL0467 - 87 - 1211

4. 計測結果

計測結果の受信波形を図2に示す。グラフは横軸に発信からの経過時間（ms）、縦軸に受信波電圧（mV）を示している。計測対象である花崗岩の室内試験におけるP波速度は4,800m/s～5,500m/sであり、現地計測にて初動が3ms台後半に現れていることと一致している。

A-1～3のケースでは、15kHzの時に伝播中の減衰が著しいことが分かる。5kHzと10kHzがほぼ同程度の振幅を示すのは、計測機器特性が周波数に依存していることによると考えられる。

B-1～3のケースでは、スタック数を多くすればノイズを消去でき、高周波でも受信できることを示している。特に、P波到達前のノイズの振幅を比較すると顕著である。これら3ケースは連続で計測していないため、計測時の条件の違いで、基準電圧レベルや振幅に多少の差が生じている。

C-1、2のケースでは、両者の受信波形振幅に差は確認されず、発受信点部の孔内水圧が伝播に影響を与えないことが確認された。ただし、水深5.0m程度の差（ $4.9 \times 10^{-2} \text{N/mm}^2$ ）についてである。

Dのケースは計測に2時間程度を要したが、190Vと低い電圧にもかかわらず、走時を読取るのに十分鮮明な受信波形が得られた。

図3に2.5kHzの走時データから得られた速度分布を示す。データは発信点および受信点を1m間隔でそれぞれ6点で計測したものであり、スタック数は20,000である。受信点側深部に速度の遅い部分が存在しているが、これはボーリングコア観察において確認された変質部の分布位置とよく一致する。

5. 成果と今後の課題

計測結果から、スタック数を増やすことにより、減衰の著しい高周波数P波の受信が可能であることが分かった。しかし、この方法は多大な計測時間を要することから、ソフトを用いての自動計測化が省力化に有効であると考えられる。また、発信器側の能力を上げることと合わせて検討し、最適な方法を設定するのが良い。本計測

では強固な岩盤が対象であったため、20.16mの孔間距離で波形受信できたが、軟岩や土質において、どの程度の孔間距離で実施できるかは、今後の実験により検証する予定である。

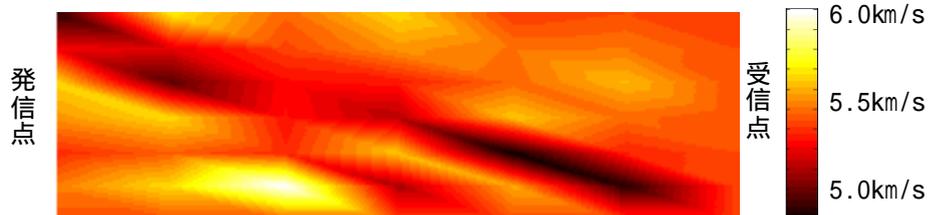


図3 弾性波速度分布（2.5kHz、6.0m×20.16m）

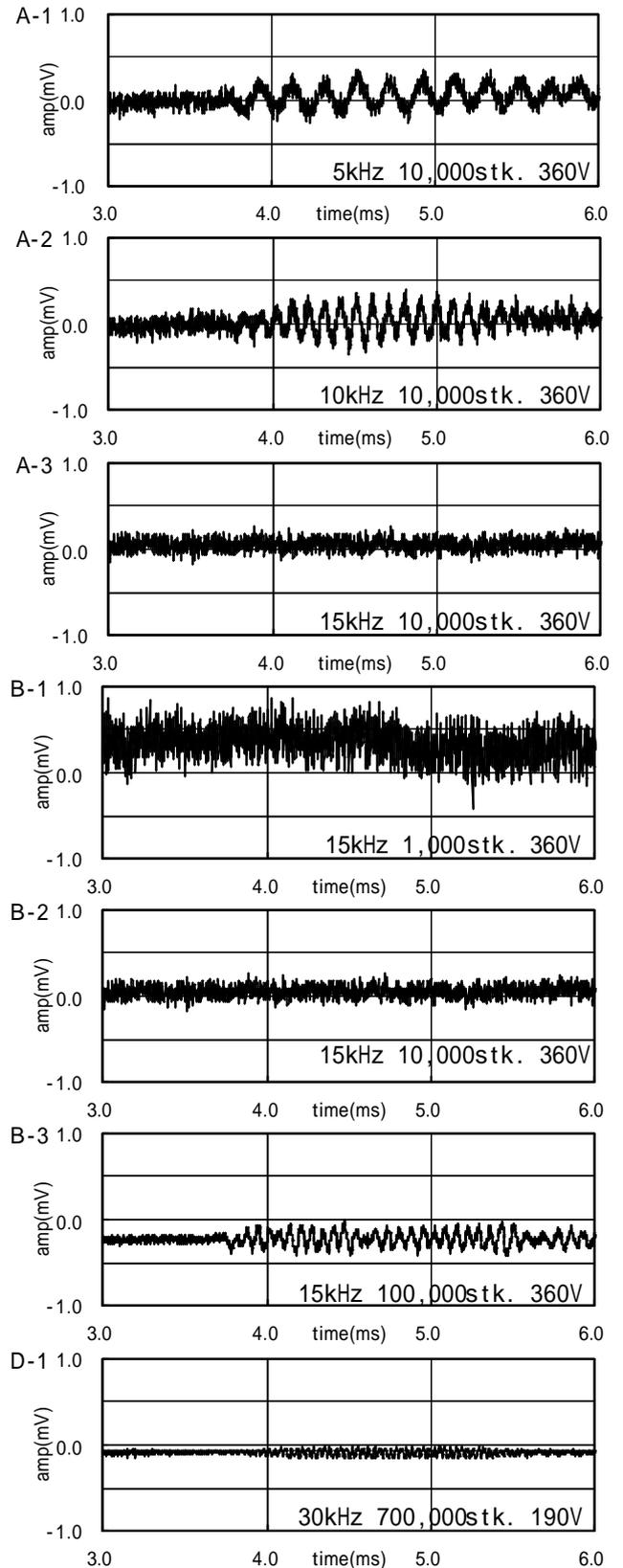


図2 計測結果