

弾性波試験における走時読取手法に関する考察

電源開発（株）

正会員

○奥村 裕史

（株）開発設計コンサルタント

鈴木 幸太 相澤 雅俊

（株）大林組

正会員

安藤 賢一

（財）原子力環境整備促進・資金管理センター 正会員

吉村 公孝

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物地層処分や二酸化炭素地中貯留等においては、地下水メカニズムを把握することが非常に重要である。このための手法として、複数の周波数で弾性波試験を行いその伝播速度の違い（速度分散）から透水性を主とした岩盤特性を求める技術（以下「弾性波透水トモグラフィ」と記す）が研究されている。この技術においては、弾性波速度を周波数毎に求める必要があることから、設定した周波数の弾性波の走時を正確に読取ることが重要である。これに対し本考察では、新たな走時読取方法を提案し、室内試験と現地試験によりその有効性を検証した。

2. 走時読取方法

弾性波速度の周波数依存を問題にしない従来の弾性波試験においては、Fig.1 に示す受信波形のうちT0で示される位置を走時として読取っている。

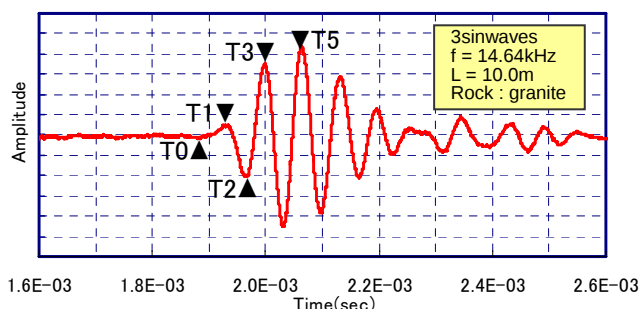


Figure 1. Waveform Received

しかし、弾性波先端部（T0付近）はその立上り角度、受信音圧レベル、読取者、受発信器の周波数特性等により、波形が変化し読取走時値がその影響を受けてしまっている。また、読取値がどの周波数の弾性波に対応しているか分からないという問題がある。弾性波透水トモグラフィ技術においては、弾性波速度の周波数依存がポイントであることから、T0を使用することは適切とは言い難い。

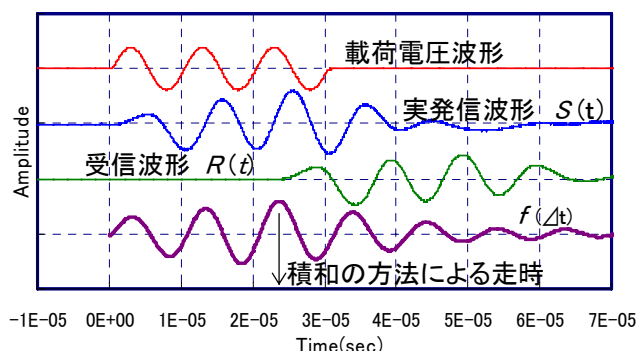
この問題に対し、伝播する弾性波を1つの連続し

た波の集合体として捉え、その代表的な位置の時刻の差を基に走時を得る方法（以下「凸部差の方法」と記す）を考案した。例えば、Fig.1に示されている受信波形において、周波数や波形が安定しているT3とT5を読取ポイントとして、発信波形と受信波形との差を走時とする方法である。ここにいう発信波形とは載荷している電圧波形をいうのではなく、実際に発信器から出力されている弾性波（実発信波形）のことをいう。また、読取ポイントを波形凸ピーク等の任意の読取容易な位置に設定できることから読取者による誤差を非常に小さくすることができる。

凸部差の手法は人間が目で読取る手法であり、データが多い場合は多大な労力を要する。そこで、計算機上での処理が可能な方法として、下式に示される $f(\Delta t)$ が最大となる Δt を走時とする方法（以下「積和の方法」と記す）を考案した。

$$f(\Delta t) = \sum_{t=0} \{S(t + \Delta t) \times R(t)\}$$

ここに $S(t)$: 実発信波形、 $R(t)$: 受信波形である。この方法は読取ポイントを特定するのではなく受信波形全体を使うものであり、その概要をFig.2に示す。

Figure 2 .Source, Received Waveform and $f(\Delta t)$

3. 室内試験（超音波速度試験）

水で飽和させたφ50mm H100mmの花崗岩供試体を用いて室内試験（超音波速度試験）を実施した。伝播させた弾性波は100kHzのサイン波3波である。

キーワード 周波数別弾性波走時、弾性波透水トモグラフィ、実発信波形、凸部差の方法、積和の方法
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

Table 1 に従来の方法、2 番目の凸部 (T3) と 3 番目の凸部 (T5) を読取ポイントとする凸部差の方法、積和の方法により得られる走時および弾性波速度を記載した。

Table 1 .P-wave Velocity

Method	Arrival Time	P-w Velocity
従来方法 (T0)	22.38 μ sec	4468m/s
2nd凸 差の方法(T3)	23.66 μ sec	4227m/s
3rd凸 差の方法(T5)	23.77 μ sec	4207m/s
$f(\Delta t)$ 積和の方法	23.65 μ sec	4228m/s

凸部差の方法と積和の方法による走時とはよく一致しており、両方法の有効性が確認できる。また、これらの 2 つの方法による走時と従来方法による走時に若干の差異が生じている。これは従来方法において、2. に記載される問題点により読取位置のズレが生じたものと考えられる。

4. 現地試験（孔間超音波速度試験）

室内試験で有効性が確認された積和の方法を現地試験へ適用することを試みた。現地試験（孔間超音波速度試験）の概要を Fig.3 に示す。

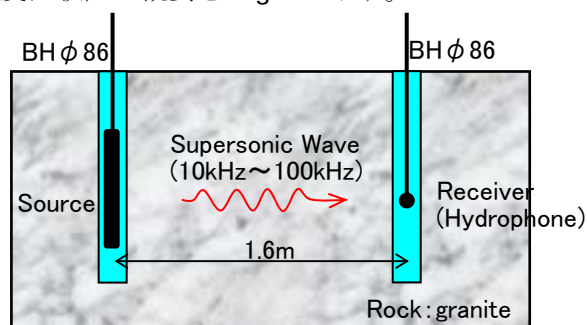


Figure 3 . Field Test

現地試験は、弾性波周波数を 10kHz~100kHz の範囲で実施した。発信波形はサイン波 1 波とした。現地試験のうち発信弾性波周波数が 34.82kHz のケースの受信波形を Fig.4 示す。

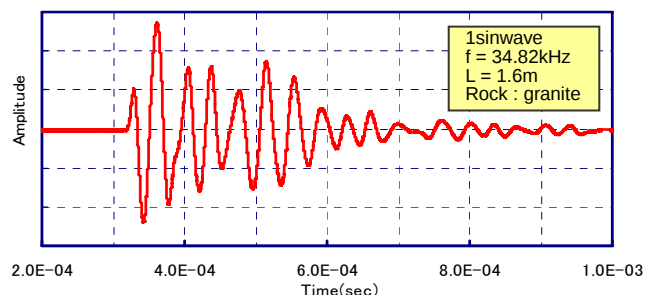


Figure 4. Waveform affected in Borehole

現地試験はボーリング孔を用いて行ったため、孔

内反射の影響を受け、Fig.4 のように 1 波の入力にもかかわらず 10 波近い波が受信された。さらに、位相も途中で変化してしまっている。このため、現地試験で得られる孔内反射を含む受信波形に対し、積和の方法を適用することは不可能であった。よって、凸部差の方法を採用することとしたが、室内試験で実績のあった T3 や T5 による走時読取は、受信波形において孔内反射の影響が弾性波到達後直ちに出るために不能であった。そのため、最初の凸部と凹部 (T1、T2/Fig.1) の差を利用することとした。その結果が Fig.5 である。

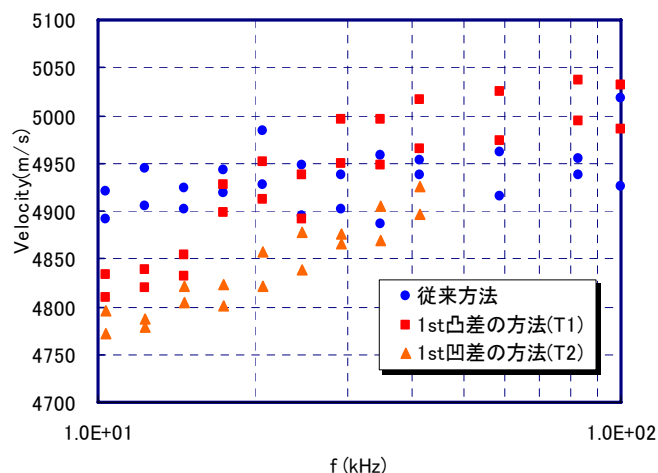


Figure 5 .Velocity Dispersion (Field Test)

Fig.5 によると従来方法では、周波数に依存した弾性波速度の分散を確認することはできなかった。一方、凸部差の方法 (T1、T2) では弾性波速度の分散が確認できた。

5. おわりに

室内試験において、積和の方法が有効であることが確認された。現地試験においては、積和の方法は適用できなかったが、凸部差の方法で周波数による弾性波速度の分散を確認することができた。

弾性波透水トモグラフィのような現地試験の場合、試験ケースは非常に多い。これを考慮すると、現地試験においても積和の方法を適用し、膨大な収録データの処理を計算機で実施することが必要不可欠である。また同時に、読取者により生じる誤差を省くことも可能となる。このためには、孔内反射に対する対策（孔内受発信器の工夫、波形のうち計算使用範囲の限定等）が必要であり、今後の課題である。

なお、本検討は経済産業省委託事業「平成 17 年度地層処分技術調査等」の成果の一部を使用している。