

三井建設株式会社 技術研究所 正員の酒入 修 白井龍男
同上 土木技術部 渡辺宗樹
法政大学土木工学科 柴田正樹

1. はじめに

現在、超音波は医学などの各分野で利用されている。土木・建築の分野では、超音波は地下連続壁工法・場所打杭工法などにより掘削した地下空洞部の形状・寸法の計測にも利用されているが、これは水中という特殊な状況においては吸収減衰の影響のため、情報の伝達・収集という点で音波の方が電磁波に比べて優れているためである。しかしながら、安定液中の距離計測における超音波の利用方法及びその反射波処理の方法にはまだ考慮すべき点がある。その原因は、安定液の濃度・不規則に存在する浮遊物や気泡が超音波に与える影響について十分解明できていないからである。本研究は実験水槽を用いて、安定液中に浮遊物・気泡を混入することにより、実際の空洞内で起こりうる様々な状況を再現し、超音波反射波が受ける影響について把握し、それをもとにして超音波反射波処理の方法及び距離計測における超音波の利用方法について考察することを目的とする。以下に、その研究概要について述べる。

2. 実験方法

実験は内側に吸音材を張り、底に気泡噴出管を設置した水槽（ $2000^{\text{mm}} \times 1000^{\text{mm}} \times 1500^{\text{mm}}$ ）を使用した。送受信を行う超音波センサーの周波数は 200kHz で、振動子はチタン酸バリウム振動子である。標的となる反射板には鋼製の平板（ $300^{\text{mm}} \times 300^{\text{mm}} \times 20^{\text{mm}}$ ）を用いた。センサーと反射板は、超音波の入射角が 0° となるように設置した。安定液作成にはNa系バントナイトを用い、その濃度は4%、6%、8%の3種とし、気泡混入量は毎分0.5ℓから0.5ℓまで毎分2.0ℓまで4段階とした。超音波の伝播距離は最大240cmとした。試料は、安定液濃度と混入気泡量を様々な組合せた場合に得られる反射波とし、安定液の濃度や気泡が反射波に与える影響について調べた。図1に実験水槽を示す。

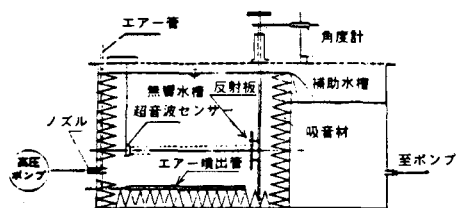


図1 実験水槽

3. 実験結果

図2に6%の安定液中に毎分2.0ℓの気泡を混入した場合に得られる反射波を0.2秒毎に連続8個採取した様子を示す。左側の安定した波形が送信波の電気的な余韻の部分である。中央部の不規則な波形は気泡による反射波（以下雑音；N）である。右側の安定した波形が反射板からの反射波（以下信号；S）である。

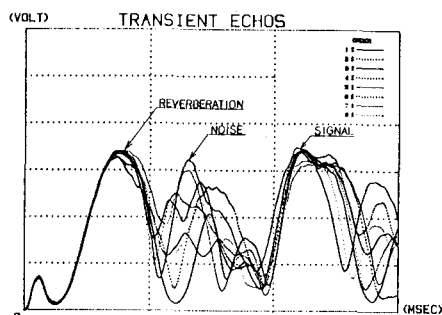


図2 連続8個の反射波

図2の現象は、濃度と気泡量の他の組合せにおいても見られ、必ず信号は存在し、また信号のレベルにもほとんど違いは見られなかった。図2を見ると、信号は定時間に定レベルで発生するのに対し、雑音は発生時間もレベルも不規則であり、信号と同等のレベルで発生する場合もある。したがって、図2のような状態では単一の試料から信号と雑音を区別することはむずかしいので、複数個の試料を重ね合わせ平均化することを考えた。図3に8個の試料を重ね合わせ平均した波形を示す。図2と図3を比較すると、信号のレベルは同一であるの

に対し、雑音のレベルは大幅に下がっている。このことにより試料を重ね合わせ平均することは、信号と雑音を区別するためには有効と考える。平均する試料の数とS/N(信号の最大レベル/雑音の最大レベル)の値の関係を調べた結果を図4に示す。図4によると試料数3個でS/Nの値は1.5を越え、4個でピークとなり以後8個まで変化していない。この図は6%安定液についての結果であるが、濃度と安定量の他の組合せについても同一の結果を得た。図3を見ても分かるように、試料を重ね合わせることで雑音のレベルを下げることはできるが、依然として雑音は存在する。このために、この状態から信号と雑音を区別する目的でしきい値を設ける。このしきい値の意味は、このレベル以上の信号しか処理しないということである。図4によると、しきい値は信号の最大レベルの50%から80%の間の値に設定すれば雑音を回避できることになる。しかし、雑音の信号への干渉は低レベルだけではなく、信号全体に及んでいると考えられ、しきい値も雑音の干渉が最小のレベルに設定されることが必要である。図5に6%安定液の場合の超音波の伝播距離と信号の立上り時間の関係をしきい別にプロットした結果を示す。この図において、安定液中の音速が一定と仮定すれば各プロットは直線上にあるはずである。それぞれを直線回歸して、その直線とプロットとのバラつきを調べると80%から90%のレベルが少なかった。このことは、他の安定液でも同様であった。注意すべきは、しきい値を設定することにより信号の真の立上り(図3のA点)と処理上の信号の立上り(図3のB点)にもなる時間差が生じていることである。

4. 考察

気泡・浮遊物を含む安定液中で距離計測を行う場合、必要な情報は標的までの超音波の送受信時間と安定液中の音速である。正しい送受信時間を知るためには、信号と雑音の区別が問題となる。本研究では、3個以上の試料を重ね合わせ平均し、しきい値を設けることで信号を取り出せると考える。ただし、しきい値は平均した信号の最大レベルの80%から90%の間とする。この際、しきい値を設けたことにより生じた時間差も分かる。

正しい送受信時間を知ることが出来る。任意の安定液中の音速を知るのは困難であるので、従来よりチャリブレーションという方法を用いている。このチャリブレーションが計測位置で行われ、かつ本研究のような処理方法で時間差も考慮して行われれば、正しい距離計測が可能と考える。それは、安定液の状況により時間差も変化するからである。安定液の濃度別に、しきい値90%における時間差もについて調べてみると、4%のとき664μsec、6%のとき771μsec、8%のとき789μsecであった。このようにも各安定液で異なるため、また相互の関係についても不明であった。今後の課題として、任意の安定液における時間差の把握が上げられる。

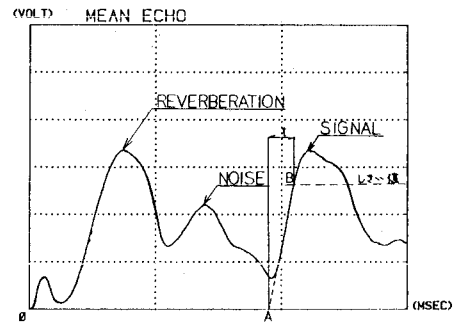


図3 平均した波形

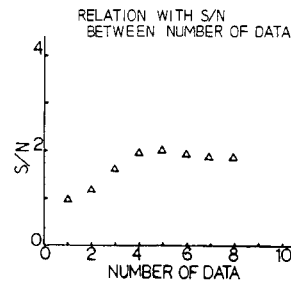


図4 試料の数とS/Nの関係

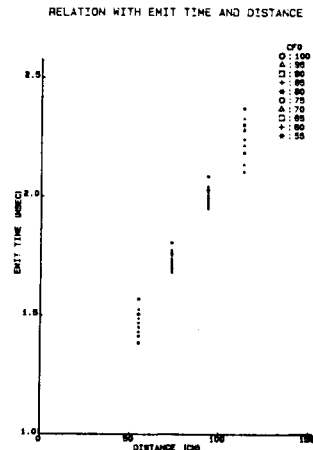


図5 しきい値別による距離と時間の関係