

III-43 薄層の存在が弾性波に及ぼす影響について

京都大学工学部 正員 佐々宏一、渡辺俊樹

1 緒言 波長に比して厚さがかなり薄い低速度層(水や粘土が充填している亀裂等)が存在する岩盤内を伝播する波動の伝播速度にはWyllieの時間平均速度の概念が適用できないことはすでに報告し、その理由として透過波の波形が薄層内で多重反射したのち透過する多数の多重反射波の重畳によって形成されるためであると推論した。⁽¹⁾ そこで、このことを確認するとともに、岩盤評価への弾性波の振幅及び波形の利用を推進するために、薄層での波動の反射率と透過率について検討したのでその結果について報告する。

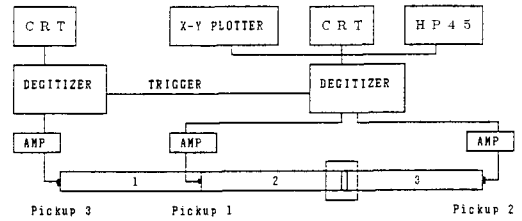
2 モデル実験 音響インピーダンスが異なる媒質の境界面に波動が入射した場合には反射波と透過波とが発生するから、媒質の異なる薄層が存在する場合にも、反射波と透過波とが発生する。そこで、弾性波の波長に比してその厚さがかなり薄い薄層の存在が波動に及ぼす影響を簡単な1次元モデルを用いて実験的に検討した。

第1図に示すように、直径5cm、長さ200cmのアルミニウム棒を3本縦に配置し、アルミニウム棒2と3の端面間にアクリル酸樹脂板をグリースを用いて密着させてはさみ込み、このアクリル酸樹脂板を低速度薄層、アルミニウムを岩石と見なした低速度薄層を含む岩盤モデルを作成した。なお、アルミニウム及びアクリル酸樹脂の縦波速度は5250m/s及び2370m/sである。このモデルに小型の加速度型ピックアップを固定し、入射波、反射波及び透過波を測定した。

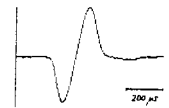
第2図はピックアップ1で測定した入射波の波形を示したものである。図に示すように入射波は正弦波状パルス波で、アルミニウム中の波長は約1.8mである。実験では薄層の層厚を0.3~15cmの間で変化させて層厚の変化が波動に及ぼす影響を調べた。第3図は各層厚の場合に得られた反射波及び透過波の波形を示したものである。この図より、層厚の増加とともに、反射波の振幅は増加し、透過波の振幅は減少すること、及び両者の波形にも明らかな変化が現われていることが分る。

3 モデル計算 薄層の存在によって発生する反射波及び透過波は、第4図に模式的に示したように、各境界面での多重反射波の重畳により形成されていると考えることができる。そこで数値計算を行い、実験結果と比較することにした。音響インピーダンスの異なる媒質の境界面に縦波が垂直に入射した場合に、反射波及び透過波の振幅と入射波のそれとの比、すなわち反射係数と透過係数は、媒質1、2の密度及び縦波速度を ρ_1 、 c_1 、及び ρ_2 、 c_2 とすると、波動が媒質1から入射する場合には、次式で示される。

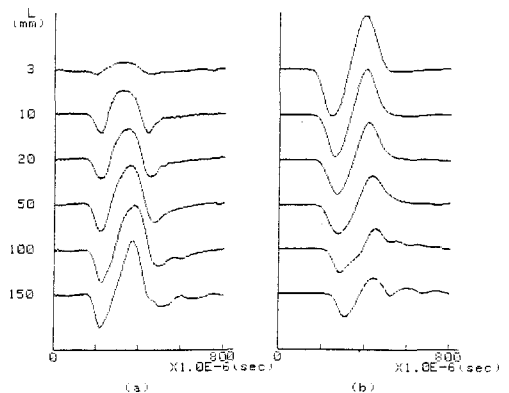
$$R_{12} = (\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2) / (\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2)$$



第1図 実験装置



第2図 入射波の例



第3図 波形の例 (a)反射波 (b)透過波

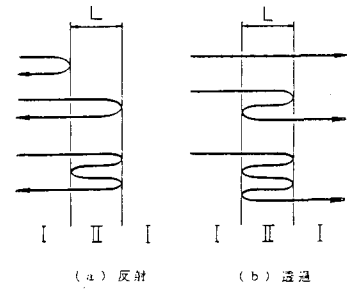
$$T_{12} = 2 \rho_1 c_1 / (\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2)$$

単一薄層の層厚を L 、層内の縦波速度を c とし、多重反射波のうち第 n 番目に到達する波を第 n 成分と呼ぶことにする。

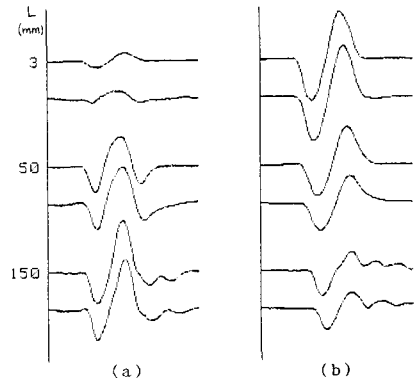
反射の場合には、第1成分の振幅比は R_{12} であるが、第 n 成分では振幅比は $T_{12} \times (R_{21})^{2n-3} \times T_{21}$ 、第1成分に対する到達の遅れ時間は $2(n-1)L/c$ となる。一方、透過の場合には、第1成分の振幅比は $T_{12} \times T_{21}$ 、層厚が0の場合に対する遅れ時間は L/c であるが、第 n 成分ではそれぞれ $T_{12} \times (R_{21})^{2n-2} \times T_{21}$ 及び $(2n-1)L/c$ となる。従ってこれらの関係を用いれば重畳による波形を作成し得る。

第5図は、層厚が3, 50, 150mmの場合について実験結果と上記の計算により得られた波形とを対比して示したものである。両者の波形はかなり良く一致していることが分る。又、第6図は反射波及び透過波の振幅と入射波のそれとの比と層厚との関係を、実験結果と計算結果とを対比して示したものである。図より両者はほぼ一致していることが分る。

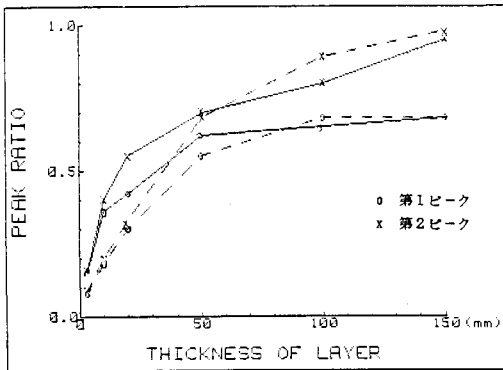
4 考察 実験結果と数値計算の結果とを対比して検討することによって、波長に比して層厚が薄い低速度薄層が存在する場合には、その薄層での反射波及び薄層を通過した透過波は層内での多重反射波の重畳によって形成されていることが明らかとなった。又、層厚が無限小となれば反射波及び透過波の振幅比はそれぞれ0及び1であるが、層厚が大きくなるとともにそれらはそれぞれ R_{12} 及び $T_{12} \times T_{21}$ に収束していくことも明らかとなった。なお振幅がこれらの値に収束する層厚は入射波の波長と層内の媒質の伝播速度とで決定される。



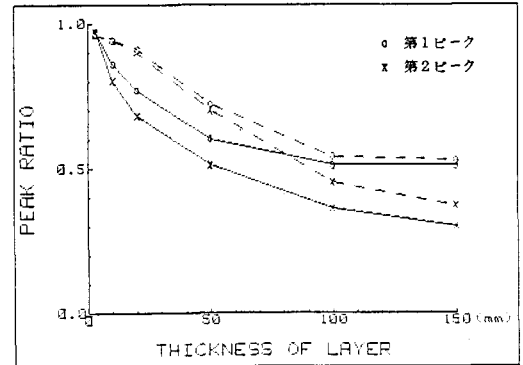
第4図 薄層での反射波と透過波の形成機構の説明図



第5図 計算結果(上)と実験結果(下)
(a)反射 (b)透過



第6(a)図 反射波の振幅比と層厚の関係
(実線: 実験値, 破線: 計算値)



第6(b)図 透過波の振幅比と層厚の関係
(実線: 実験値, 破線: 計算値)

参考文献 (1)佐々宏一、劉明治、杉本卓司: 水で飽和した亀裂を含む岩盤のP波伝播特性、第6回岩の力学シンポジウム講演論文集、1984年12月、163~168頁。