

(61) 表層地盤での波動伝播についての一模型実験方法

東京理科大 江口和人・森地重暉

1. はじめに

地盤内を伝播する波動問題の解明は、地中構造物の耐震性の検討等の地震工学上の問題だけでなく、交通振動等の環境問題に関連しても基本的であるといえる。アレイ観測による強震観測等の実測の他に、理論解析及び実験解析も波動問題の究明に対し有効である。

前二者の進展に呼応して実験解析のより一層の発展が期待されている。伝播する波動についての実験の実施に際しては、模型材料の選定が一つの課題になる。通常の模型材料に比べ低い弾性波速度を持つ模型材料を用いると波動現象の速さを低減できるので、波動の発生や波動現象の記録等が容易になり、実験の実施面で有利になる。このような考え方で、著者はアクリルアミドゲル(横波速度:1~3m/s, ポアソン比:0.5)を模型材料として用い、その利点を活用して模型実験方法の開発を行ってきた(文献-1)。

実験時において、波動伝播に伴い生ずる変位の記録には、電磁式オシログラフを使用してきた。アナログ的に記録することは、実験中に即座に波動現象が把握できるので、波動現象の検討や実験計画の改善等に有効である。反面、実験結果の数的処理がそのままでは容易でなく、また、波速を求める際にも個人差の混入が避け難い。そこで、波動伝播に伴い生ずる変位の記録にあたっては、デジタル的に行うことにし、アナログ的な記録方式の難点を取り除き、実験結果の処理について簡便化を図ることで、本実験方法の有効性を高めることにした。

2. 実験方法

実験対象としたのは剛基層上の弾性層で、弾性層内にSH波状の波動が伝播する例題を取り上げた。用いた地盤模型の形状・寸法は、図-1に示されている。▽印は加振点の位置、○印は変位の測定点である。

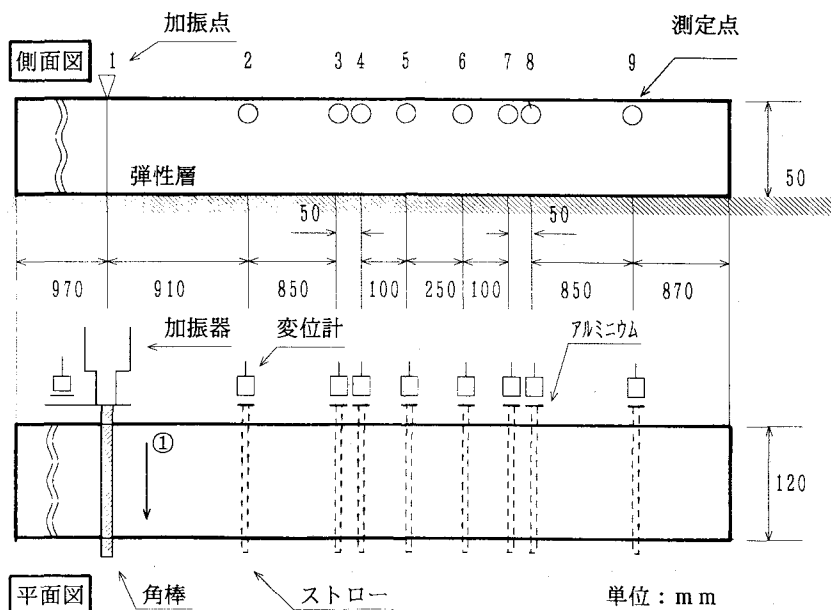


図-1 実験模型図

波動の発生には電磁式加振器を用いた。加振器の加振棒の先端にアルミニウムの角棒を取り付け、角棒を地盤模型に圧接し角棒を水平に加振することで模型内にS H波状の波動を発生させた。正弦波状の波動を9波発生させ、加振振動数は7.0～34Hzとした。

波動伝播に伴い生ずる波動の変位は次のように測定した。模型地盤上面の奥行き方向の変位を測定するため測定箇所の表層付近にストローを埋め込み、ストロー先端にアルミニウム箔を取り付けた。そして、ストロー方向の箔の変位を非接触変位計により測定した。このように箔の変位を測ることで、波動方向と直交した方向の測定箇所の変位を得た。

変位の記録は次のように行った。変位計からの変位量に伴う電圧変動を増幅して、AD変換器によりデジタル信号にしてフロッピーに記録した。データ数は1秒間に500個、また、データの収集時間は4～6秒とした。

実験は次のように行った。模型の加振をある振動数 f で行うと、各測定点には波動伝播に伴う変位変動が生ずる。まず、変位変動を電磁式オシログラフで記録する。即座に波動の伝播状況が分かるので、正常に実験が行われていることを確認したら、図-2の切り換えスイッチにより変位計からの出力をAD変換器に入力できるようにして再度同じ振動数 f で実験を行う。このように、変位記録には、アナログ式とデジタル式を併用した。

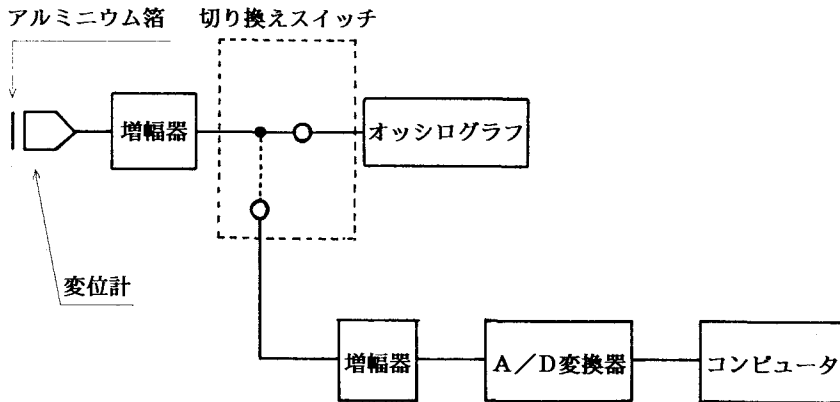


図-2 システム概略図

3. 実験結果の数的処理方法

波動伝播に伴い弾性層内に発生する変位の記録から群速度、位相速度を求めるに際し、デジタル記録は有効である。

実験で得られる波形は加振振動数以外の振動数も含んでいるので、位相速度、群速度等を求めやすい波形を得るには加振振動数以外の振動数成分を取り除く等の工夫が必要である。本文では次のような方法で行った。

(1) 式に示すように原波形 $f(t)$ をFourier変換し、スペクトル $g(\omega)$ を求める。 t は時間、 ω は円振動数である。スペクトル $g(\omega)$ のピーク値に対応する円振動数は加振振動数 ω_0 に略対応する。 $g(\omega)$ を円振動数 $(\omega_0 + 2\pi)$ と $(\omega_0 - 2\pi)$ の範囲で逆変換する。すなわち、(2)式に示すようにして波形 $f'(t)$ を得ることができる。

$$g(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \exp(-i\omega t) dt \quad \text{---- (1)}$$

$$f'(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_0 - 2\pi}^{\omega_0 + 2\pi} g(\omega) \exp(i\omega t) d\omega \quad \text{---- (2)}$$

図-3にデジタル記録の原波形 $f(t)$ 並びに $f'(t)$ の一例を示す。ただし、図-3の変位の正方向が、図-1の矢印①の方向に対応している。

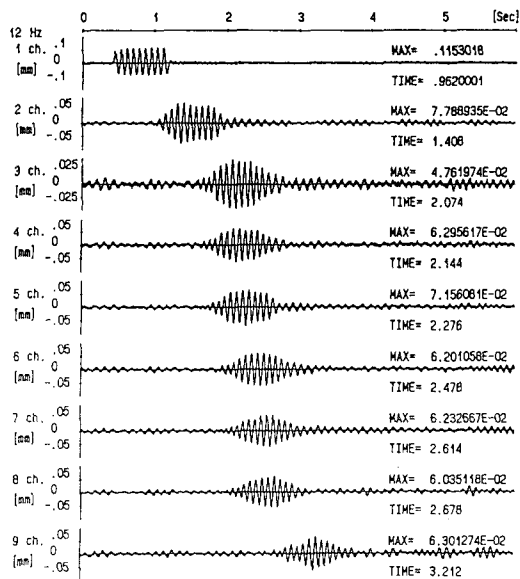


図-3 (a)

原波形 (1 2 H z)

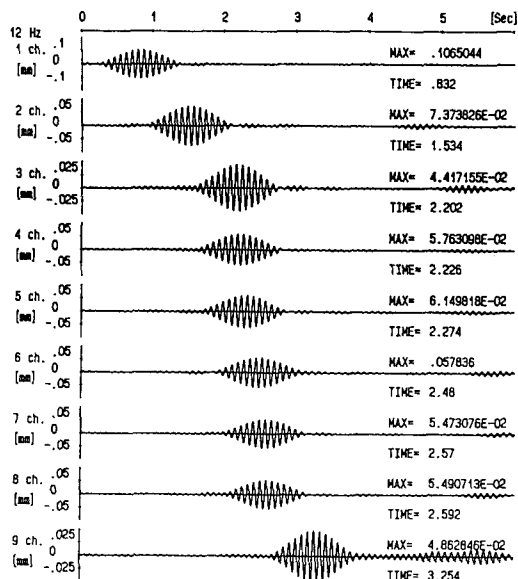


図-3 (b)

変換後の波形 (1 2 H z)

群速度 C_g は次のようにして求めた。図-3 (b)において測点(2)と(3)の変位波形を見比べると明らかに波群の進行している様子がわかる。図-4 (a)に示すように2つの波形のピークを示す時間差を t とし、両者の測定間の距離 L を用いると(3)式に示すようにして群速度 C_g を得ることができる。また、位相速度 C を求めるには次のようにした。図-3 (b)に示す測点(3)と(4)の間の距離 ℓ は5.0cmである。図-4 (b)に示すように、測点(3)におけるある位相の山に着目する。本文では測点(3)での最大値を示す時刻 t に着目した。測点(4)での t より後の最初の位相の山が Δt 秒後にあるとする。測点(3)を通る長さ ℓ 以上の波長をもつ波動の位相速度 C は ℓ を用いて(4)式で与えられる。

$$C_g = L / t \quad \text{---- (3)}$$

$$C = \ell / \Delta t \quad \text{---- (4)}$$

なお、図-3 (b)に示されている測点(5)の資料は測点(3)のものからみて、 ℓ の3倍の距離があるため位相速度を求める際に参考資料として用いることができる。また、波長を求めるには、位相速度が波長と振動数との積であることを利用した。なお、図のチャンネル番号は各測定点の番号を示す。

4. 実験結果

SH波状の波動が弾性層内を伝播する際に生ずる変位の時間的変動を測定しデジタル記録を解析して得られた波動の群速度、位相速度及び波長等の結果を図-5に示す。横軸は波長／層高(λ/H)、また、縦軸は位相速度(または)群速度／横波速度(C or C_g/V_s)の値を示している。図中には、剛基層上の弾性層内を伝播するLove波の理論分散曲線を併記する。理論は実験結果を説明すると考えられる。

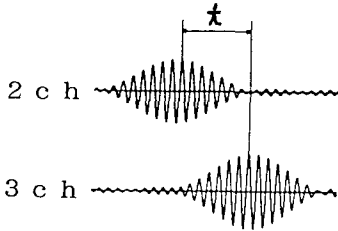


図-4 (a) 群速度の求め方

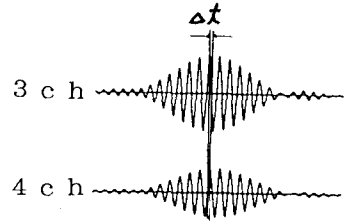


図-4 (b) 位相速度の求め方

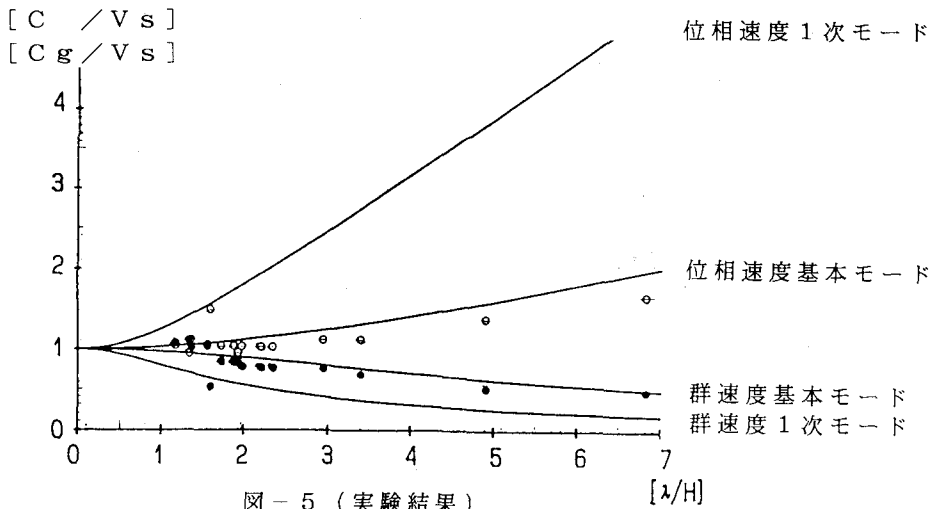


図-5 (実験結果)

5. 結び

低弾性材料を模型材料として使い、模型地盤を対象とした波動実験を行ってきた。本文では、過去に用いたアナログ的手法に加えて、デジタル的手法を波形の記録に導入した。この二つの手法を併用して実験を行い、実験後の波形記録の解析を迅速かつ正確にして本実験方法の有効性を高めた。

<参考文献>

- (1) 森地、大西：弾性層内を伝播する表面波に対する一模型実験方法について、構造工学論文集、Vol. 38A, 1992年3月, pp. 625-638