

剛基層上の弾性層内を伝播する Love 波に対する 波線理論的な一考察

東京理科大学理工学部 学生員 川名 太

東京理科大学理工学部 正会員 森地 重暉

東京理科大学理工学部 学会員 白戸 義孝

1. はじめに

地盤内に生ずる波動現象の究明は地震工学上の基本的課題である。著者等はそのような究明に使用可能な模型実験法の開発を手がけてきた^{(1),(2)}。基本的な問題であるが、剛基層上の弾性層内を伝播する SH 波状の波動を発生させる場合、任意の加振振動数で明瞭な変位波形が得られるわけではない。特定の加振振動数帯域のもとで波動伝播に伴う明瞭な変位波形が得られる。実験の実施上で問題になることもあるので、このようなことに対して試みに波線理論的な考察を加えることにした。

2. 実験結果及び計算結果について

(1) 実験解析

剛基層上に弾性層があり、SH 波状の波動が伝播する状況を実験的に把握した。模型材料として、剛基層には鋼材を、弾性層にはアクリルアミドゲルを用いた。このゲルは二液型の高分子材料であり、材料の配合を変えることで横波速度を 1~3m/s 程度に調節することができる。このように他の模型材料に比べて相当に低い弾性率をもつために、模型に生ずる波動現象の速さを低減できるので、現象の記録等で実験の実施上有利になる。弾性層として、直方体状の模型を用いた。弾性層の横波速度は、1.47m/s であった。波動の発生には、電磁式加振器を用いた。模型の奥行き方向にアルミニウム角棒 (10×10×300mm) を圧着した。電磁式加振器の加振棒に角棒を取り付け、正弦状に五回加振して、波動を発生させた。加振振動数は 5.0~22.0Hz とした。

波動伝播に伴い生ずる変位の測定は次のように行なった。模型の表面の測定点にストローを固着し、ストロー先端に白紙を取り付けた。この紙の模型奥行き方向の変位を主にレーザー式変位計で測定し、得られた値を測定点の変位とした。サンプリング周波数は 1000Hz とした。記録時間は 8 秒間とした。Fig-1 に実験時の様相が示されている。図中の太字は測定点の番号を表し、変位時刻歴の CH 番号と一致している。

実験で得られた原波形を加振振動数を中心とする前後 2.0Hz の帯域フィルターを用いて逆変換した。これにより得られた結果の一例が Fig-2 に示されている。変位波形の 1CH は加振点の変位を表している。2~8CH は弾性層表面に生じた変位時刻歴を示している。波群の進行する様子が明瞭に示されている。位相速度や群速度を求めるとそれが Love 波のものであることが示される。実験時で波動が出易い、或いは、出にくいということを説明するには、加振振幅に対する各測定点での変位の応答倍率を示すことが適当であろう。倍率が高ければ、変位の補足は容易であり、得られた波形も明瞭になる。Fig-3 に入力最大の振幅に対する各測定点での応答倍率が示されている。図より 11.0Hz 付近で卓越していることが分かる。

(2) 数値解析

有限要素法を用いて、実験の条件と同様な条件で解析を行なった。変位は奥行き方向のみとした。Newmark の β 法を用いて変位の時刻歴を求めた。Fig-4 には、入力最大の振幅に対する各測定点の応答倍率が示されている。実験結果と計算結果とは、同様であるといつてよい。

3. 波線理論による考察

前章で示されたように、実験的にも数値解析的にも 11.0Hz 近辺の加振振動数で応答倍率が大きく、実験的には明瞭な変位波形を得ることが分かる。何故このようなことになるのか、波線理論的に考察する。

キーワード 模型実験, 応答倍率, Love 波

〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 Tel 0471-24-1501

Fax 0471-23-9766

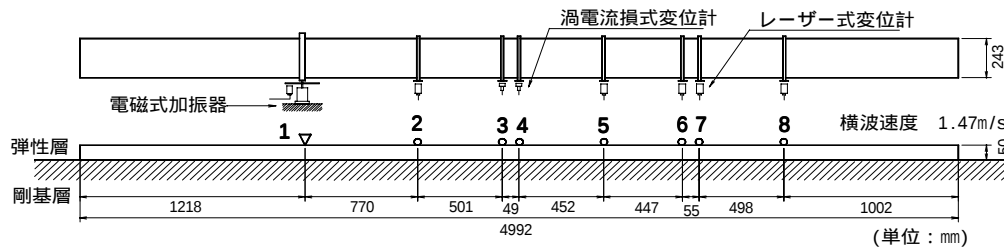


Fig-1 地盤模型図

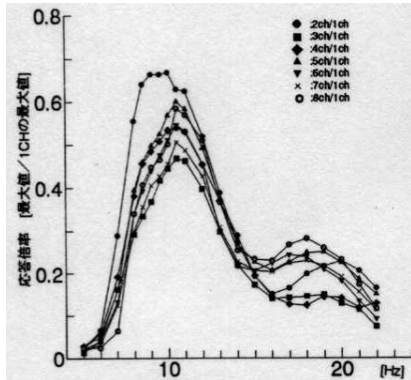


Fig-3 応答倍率 (実験結果)

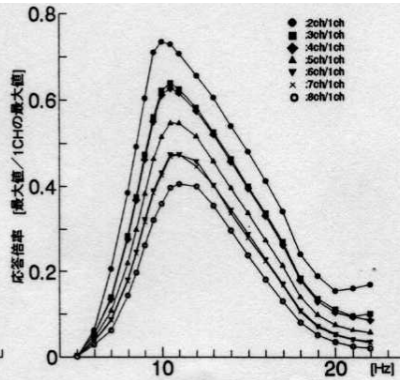


Fig-4 応答倍率 (計算結果)

Fig-5(a)において a 点より SH 波が発生し平面波として伝播してゆくとする．波は(+)の符号をもつとする．b 点では自由表面であるためにひずみが 0 であるという条件から b 点で反射する波は(+)の符号をもつ．その波が c 点に到達し反射する．c 点では変位が 0 であるため、反射波は(-)符合になる．d, e 点でも同様な議論ができる．Fig-5(b)において、二波の正弦波が発生すると考える． ϕ とは(+)で、 ψ とは(-)である． ϕ が ef 間に到達するとき、前図より(+)に、 ψ が de 間で(+)に、 ϕ が cd 間で(-)に、 ψ は cd 間で(-)になる．bc 間と同じ長さの半波長の波が発生する場合、Fig-5(c)に示される状態になる．例えば、bc 及び cd 上を伝播する平面波の反射角度が 45 度のとき、水平面上で重なり合って振幅最大の波が水平方向に伝播することになる．この波が表面波と解釈される．図でも分かる通り、表面波の波長は層厚の 4 倍で、速度は横波速度の $\sqrt{2}$ 倍になる．この弾性層のせん断一次振動数 f は 7.35Hz である．従って、そのような場合の表面波の振動数は $\sqrt{2} f = 10.5\text{Hz}$ となり、応答倍率の卓越する振動数にほぼ等しくなる．

4. 結び

剛基層状にある弾性層内に Love 波を発生させる加振振動数が特有のものであるとき、実験的には明瞭に変位波形を得ることができる．この特有の振動数帯域では、応答倍率の高いことが実験的にも数値解析的にも言い得る．このことについて波線理論的な考察を加え、幾何学的にもそのような説明のことが示された．紙面の関係上、高次のモードについては割愛したが、発表当日に説明する．

参考文献

- (1) 森地重暉・江口和人：地盤内の波動伝播問題に対するゲル状材料を用いた一模型実験法，土木学会論文集，No.489, pp.197～206,1994．
- (2) 森地重暉・君島信夫：傾斜層内の波動現象に対する模型実験結果についての一考察，土木学会論文集，No.626/I-48, pp.245～250,1999．

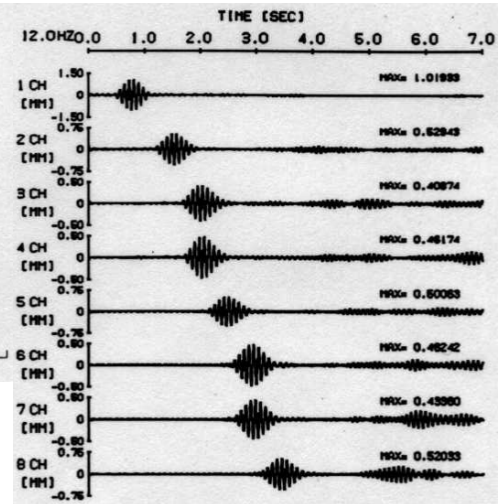


Fig-2 変位波形 (12.0Hz: 実験結果)

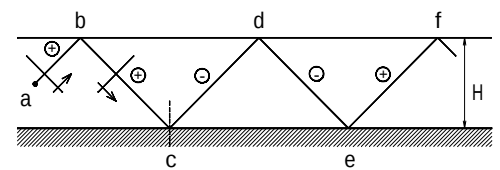


Fig-5(a)

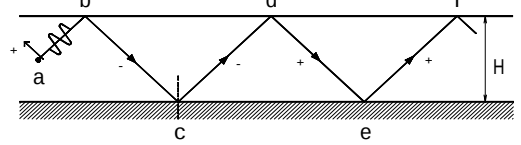


Fig-5(b)

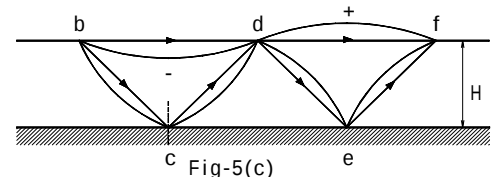


Fig-5 波線理論