

モードを考慮した Love 波の実験的解析結果について

○ 東京理科大学 学生会員 和田 康宏
東京理科大学 正会員 森地 重暉

1. はじめに

地盤内を伝播する波動についての究明は地震工学上基礎的な課題である。波動現象の究明方法として、数値解析、地震観測、模型実験解析が挙げられる。これら三者の呼応した研究が、より一層の波動現象の解明に繋がると思われる。前二者の普及進展を考慮すると模型実験解析のより一層の進展が望まれる。このように考えて、模型実験解析の改良を継続してきた^{1), 2)}。

層状地盤内の波動現象の解明には、剛基層上の弾性層を伝播する波動現象についての究明が基本的課題である。剛基層上の弾性層を伝播する Love 波に対しては、分散性状と応答倍率は理論的に説明することができた。本文では、Love 波の波動変位のモードについて検証し、模型の深さ方向の波動現象について究明を深めることにした。

2. 実験方法

本実験では図-1に示すように、剛基層上にある直方体の地盤模型を用いた。この模型の長手方向に伝播する波動現象を調査した。剛基層として鋼材を、地盤の模型材料としてアクリルアミドゲルを用いた。この模型材料の横波速度は 1.0~3.0m/s 程度と著しく低いので、波動現象の把握が容易になるので実験実施面で有利である。ポアソン比は 0.5 である。また模型の横波速度は 1.61m/s であった。

加振方法は模型の表面にアルミニウム棒を圧着させ、模型の長手方向と直交した模型奥行き方向に加振(以下 SH 加振と称する)した。加振振動数については、3.0Hz ~ 40.0Hz の範囲で 1Hz ごとに变化させた。いずれの加振振動数においても 5 波の正弦波を入力した。

波動伝播に伴い生ずる模型の変位を、レーザー式変位計を用いて測定した。測定点に竹ひごを貼付および模型内部に設置して、竹ひごの先端にケント紙を貼付して奥行き方向の変位(以下 SH 変位と称する)を測定した。測定点は模型表面と層の中位レベルとした。

キーワード: 模型実験, Love 波, モード

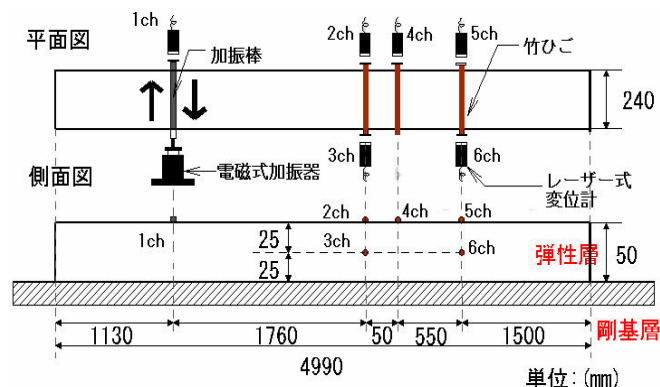


図-1 実験の模型詳細図

3. 実験結果と考察

実験で得られた実験データに対し解析を行い、波形データから各諸量を算出する。この波形データより位相速度(C), 群速度(Cg)を求めた。また振動数と位相速度から波長 λ を算出した。これらを実験値として、横軸に波長と層厚(H)の比を、縦軸に位相速度または群速度と横波速度(Vs)の比をとり、Love 波の理論分散曲線を併記した(図-2)。この図から、実験結果は Love 波の分散性状を示していると考えられる。

応答倍率は、波動源に設置した加振器の加振棒の最大変位振幅に対する模型表面の最大変位振幅の比とした。この応答倍率を縦軸にとり、横軸に加振振動数(f)とせん断一次振動数(f_0)の比(以下 f/f_0 と略称する)をとるときのグラフが図-3 である。図-3 より f/f_0 が 1.4 付近で応答倍率の最大値をとることが分かる。以上の結果に対して、波線理論的な考察を加えた。SH 波の入射角度が 45° のとき、入・反射波は弾性層内全域で全て加算的に干渉し Love 波を生成する³⁾。その場合の f/f_0 は $\sqrt{2}$ であり、実験値とほぼ一致する。

以下モードに関する考察を行う。模型表面と模型内部での SH 変位より深さ方向の波動変位のモードを求めた。縦軸に模型底部からの高さ、横軸に SH 変位をとったときのグラフの一例を図-4(a), (b)に示す。Love 波の深さ方向の

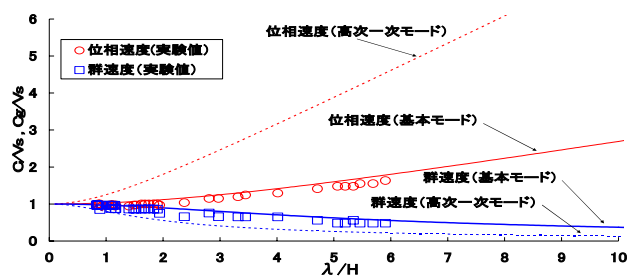


図-2 Love 波の理論分散曲線

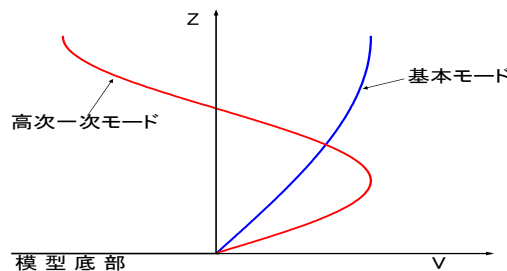


図-5 理論モード

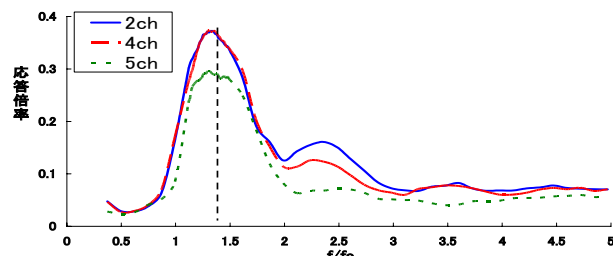


図-3 SH 動の応答倍率

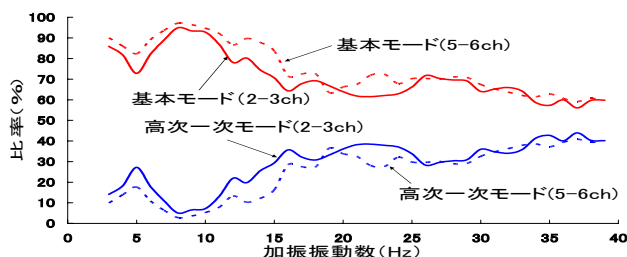


図-6 各モードを含む割合

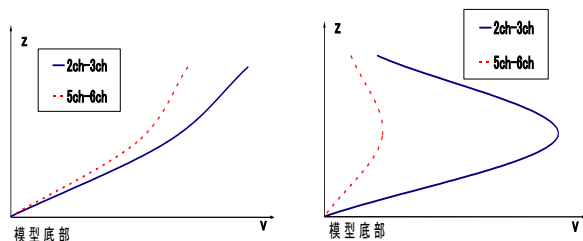


図-4(a) モード(10Hz)

図-4(b) モード(23Hz)

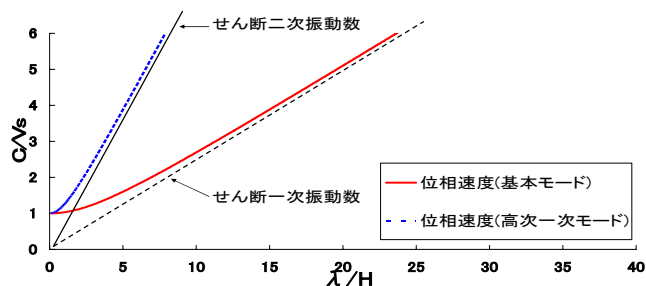


図-7 分散曲線と振動数の関係

変位は、理論上は正弦関数で表される。この Love 波の理論モードを図-5 に示す。模型に伝播する波動は、単一のモードだけでなく、高次モードを含んだ波動である。

図-4(a)の形状を見ると、このモードはほぼ基本モードを示していると考えられる。また加振振動数が高くなる図-4(b)の形状は基本モードとは異なっている。

以上の結果から、実験で得られたモードを基本モードと高次モードに分解し、各モードの比率について調べる。本解析では基本モードと高次一次モード成分のみを含んでいると考えた。縦軸に比率、横軸に加振振動数をとったときのグラフを図-6 に示す。その結果から加振振動数が高くなるにつれ、高次一次モードの比率が高くなることが示された。このことに対し考察する。

図-7 のように、Love 波の分散曲線において、原点を通る直線の傾きは振動数に比例する。せん断二次振動数以上では高次モード成分を含むことが分かる。つまり振動数が高くなるほど高次モードを含む可能性も高くなると考えられる。よって図-6 は Love 波の性質を持った結果であると考えられる。

4. 結び

実験結果を考察することで以下の結論を得た。

- (1) 実験結果は Love 波の分散性状を示した。
- (2) 波動変位の応答倍率は波線理論から説明できた。
- (3) モードについては加振振動数が高くなるに従って、高次一次モード成分が大きくなることが明らかとなった。

5. 参考文献

- 1) 森地 江口：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/I-27, 197-206, 1994. 4
- 2) 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法，構造工学論文集, Vol.38A, 625-638, 1992. 3
- 3) 森地 川名 君島：剛基層上の弾性層模型内を伝播する Love 波に対する波線理論的の一考察，土木学会論文集 No-682/I-56, 421-426, 2001. 7