

地盤内を伝播する Rayleigh 波状の波動に 対する一模型実験方法について

土居 誠¹・森地重暉²・西脇 望³・川名 太⁴

¹学生員 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (〒278 千葉県野田市山崎 2641)

²正会員 工博 東京理科大学教授 理工学部土木工学科 (〒278 千葉県野田市山崎 2641)

³正会員 工修 大成建設株式会社 (〒163-06 東京都新宿区西新宿 1-25-1)

⁴学生員 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (〒278 千葉県野田市山崎 2641)

地盤内を伝播する波動についての研究は地震工学上、基本的である。数値解析手法が有力な手段としてあるが、その進展に呼応して実験解析手法のより一層の発展が望まれる。著者はこのように考えて、低弾性材料を模型材料として活用することで、地盤内を伝播する波動についての実験解析手法の開発改善を行ってきた。Love 波状の波動については実験解析は行いやすいが、Rayleigh 波状のものについては、改善すべき面が多い。本文では、実験法の改良を試行し、若干の成果を得られたので報告する。

Key Words : model experiment , Rayleigh wave , Love wave , Wave propagation

1. はじめに

地震工学上、地盤内を伝播する波動の解析は基本であり、解析方法として数値解析法が有効である。波動現象の理論・実験の両面からの解明が効果を深められる。それ故、数値解析法の急速な普及に呼応して、実験解析法の一層の進展が望まれる。

著者らは横波速度の低い材料（アクリルアミドゲル：横波速度は1~2m/s）を模型実験材料として活用し、模型地盤内を伝播する波動の実験解析方法の開発改善を行ってきた¹⁾。例題として、剛基層上の弾性層内を伝播する波動現象を取扱い、実験結果を理論に照らし検討してきた。

弾性層の模型として直方体のものを用いて、その長手方向に波動が伝播するように工夫している。伝播方向と直交して水平面内で粒子が振動する Love 波状の波動では、理論は実験結果を良く説明している。これに対し、伝播方向を含む鉛直面内で粒子が振動する Rayleigh 波状の波動については検討の余地が残されている。本文では、この問題に着目し実験方法等の改良を試みた。

2. 実験計画

剛基層上の弾性層の模型を作成するに当たり、模型材料として剛基層には鋼材を、又、弾性層にはアクリルアミドゲルを用いている。弾性層として、層高5cm、奥行き12~24cm、長手方向の長さ5~6mの直方体模型を作成した。Rayleigh 波状の波動を発生させる場合、直方体模型地盤内の一点で伝播方向或いは鉛直方向に加振する。実験結果の検討に用いる理論は、平面ひずみ状態の波動問題であり、模型には上表面と剛基層との境界面があつて、奥行き方向の寸法は無限大になる。しかし、実験模型では、上表面と境界面の他に、奥行き方向に法線をもつ2つの自由表面があり、理論上の境界条件とは異なってくる。実際に作成し得る模型では、Rayleigh 波状の波動を発生させるようにしても、加振点から離れた所では Love 波状の波動も誘発する可能性もある。

本研究で用いてきた模型の寸法形状によると思われるが、模型は長手方向に振動させるよりも奥行き方向に振動させやすいので、Love 波状の波動が発生しやすくなると思われる。そのために Rayleigh 波を発生させるようにしても、Love 波が誘発され、逆に、Love 波を発生させるようにすれば得られる実験結果は理論上もよく説明できるものと推定する。

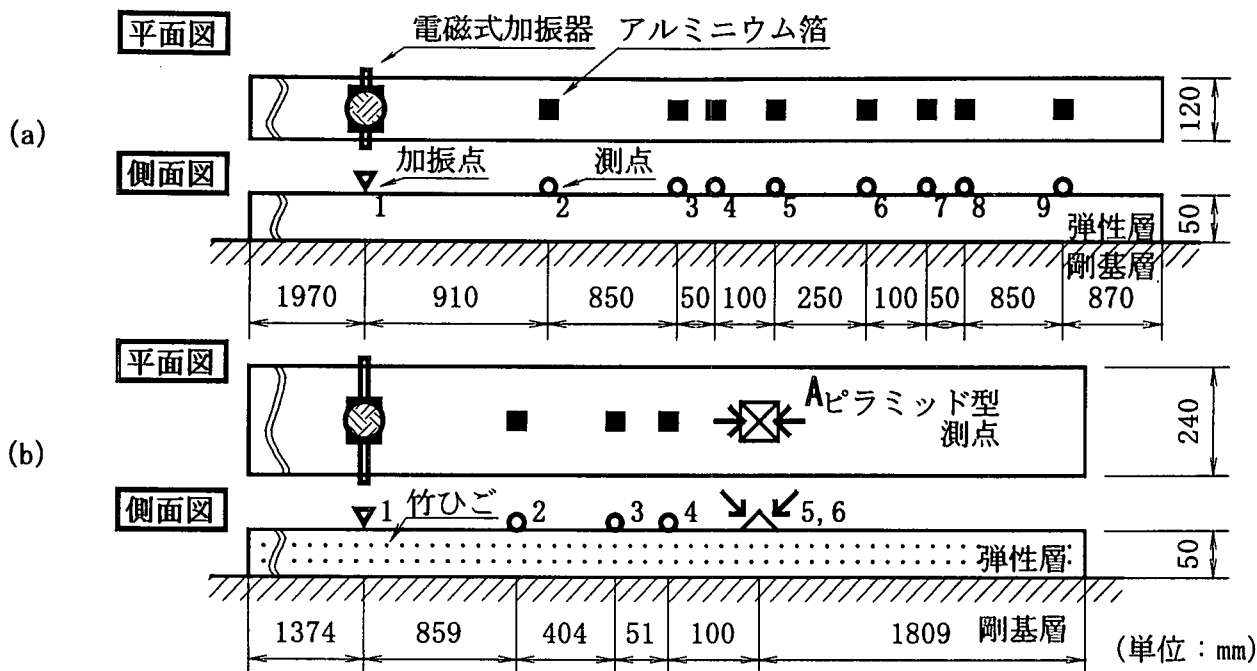


図-1 地盤模型図 ((a) 従来の実験模型 / (b) 今回の実験模型)

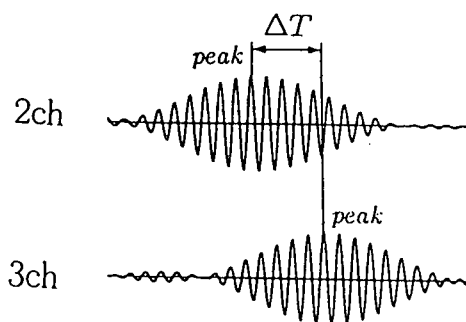


図-2 群速度の算出法

以上のようなことを考慮して、実験方法の向上を図り次のような計画を立てた。

- I. 模型に発生する波動現象をできるだけ平面ひずみの状態に近づける。
- II. 波動の加振点から、余り離れない範囲で測定を行う。

3. 実験方法・実験結果

従来行ってきた実験の結果¹⁾と、実験計画のもとに改善した実験での結果を比較してみることにした。2. 実験計画でのI.に対処すべく、模型の奥行き方向の寸法を増加した。又、奥行き方向に竹ひごを入れてその方向の膨張収縮が少なくなるように工夫した。II.に対処して変位測定的位置を従来のものに比べ加振点の方に移動している。図-1に実験状況の概要を示す。(a)は

従来行ったもの、又、(b)は今回行ったものに対応する。

波動の発生には、電磁式加振器を用いた。加振方向は上下方向とした。正弦波を9波連続して発生させた。加振振動数は7.0～30.0Hzである。波動伝播に伴い生ずる変位の測定には、非接触式変位計（ギャップセンサー：電子応用（株））を用いた。地盤模型上表面にアルミニウム箔を貼付し、箔の変位を非接触式変位計で測りその点の変位とした。新たに行った実験では、図-1 (b)中のA点に示す通り、測定位置に紙製のピラミッド状のものを置き、矢印の方向の変位をレーザー式変位計（LB-1000/LB-040：（株）キーエンス）により測定して水平・上下の変位を求め、又、その点の軌跡も算定した。

群速度の検出には、(a)では2, 3点、(b)では2, 5点での変位時刻歴を得て、波群の最大値を示す位相の2, 3（2, 5）点間の移動距離を用いて求めている（図-2）。今回の実験で明瞭な波群が得られない場合、2つの時刻歴の相互相関関数を用いたりした。

位相速度の検出には、従来、(a)での3, 4点間（5cm）の、ある位相の移動速度を求めたが、今回は(b)での3, 5点間の比較的長い距離（15.1cm）をとり、位相の山を求めるに際しての誤差の影響を少なくするように工夫した。

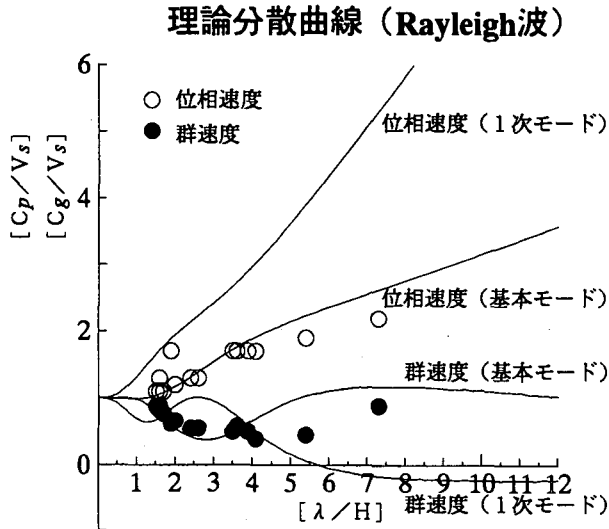


図-3 (a) 従来の実験結果

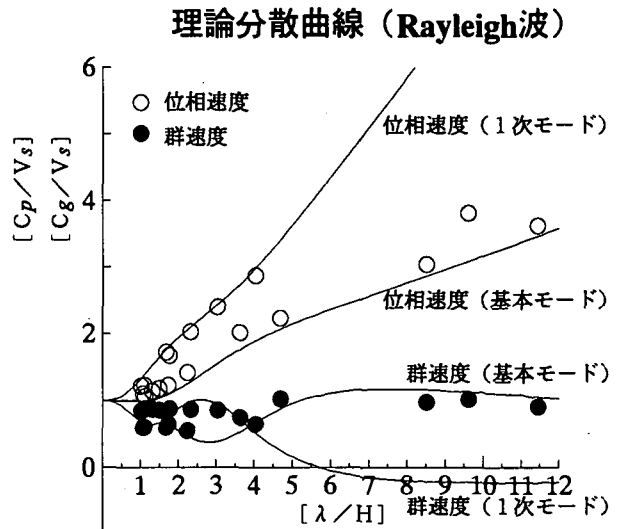


図-3 (b) 今回の実験結果

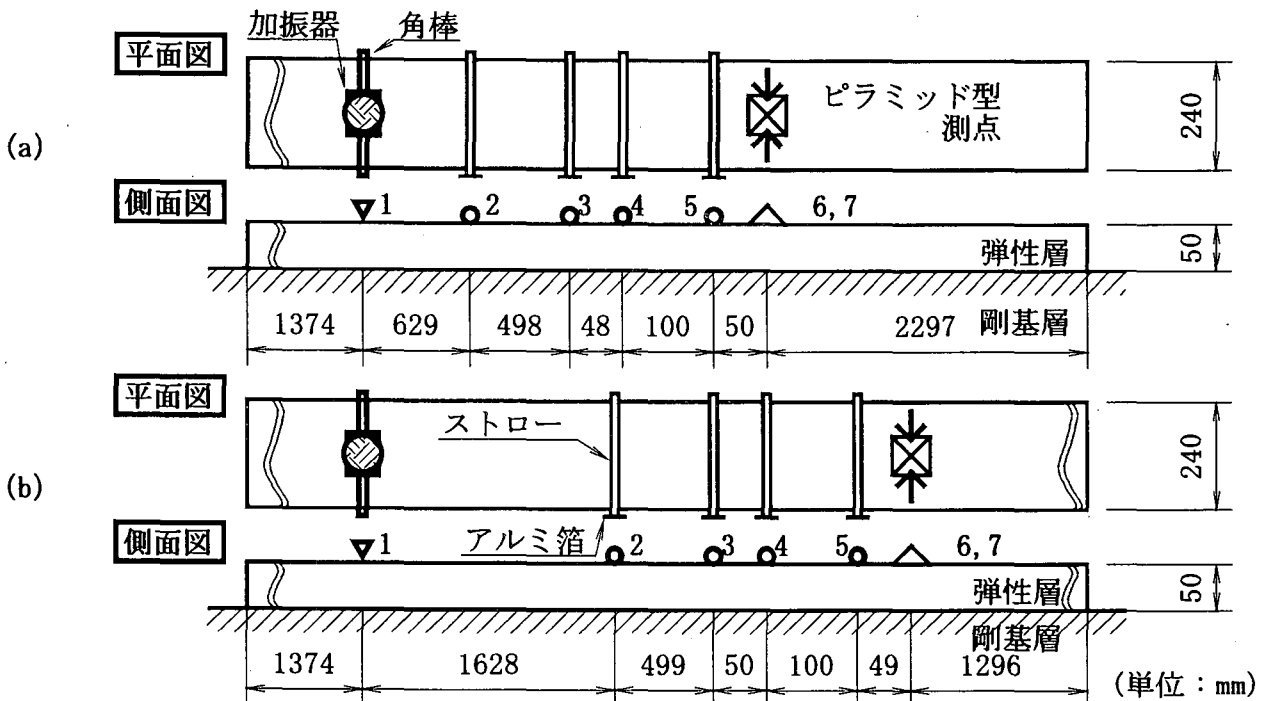


図-4 追加実験の地盤模型図

以上のようにして、群速度・位相速度を算定して分散状況を求めた。図-3にその結果を示す。図中には理論分散曲線を併記している。(a), (b)を見比べると若干の改善が認められる。

4. 追加実験

従来、本研究で用いられた地盤模型は2.実験計画において述べた通り長手方向よりも奥行き方向に振動し

やすい形状をしている。そのために、Rayleigh波のみ発生するように長手方向、又は上下方向に模型を加振してもLove波状の波動の発生が予想される。このようなことについて調査するために次のような実験を行った。

模型の上表面の一点を上下方向に加振した場合に、模型各部で生ずる奥行き方向の変位を測定した。実験時の様子は図-4に示されている。本来、模型各部の粒子は、模型の長手方向に振動するべきと思われるが、測定

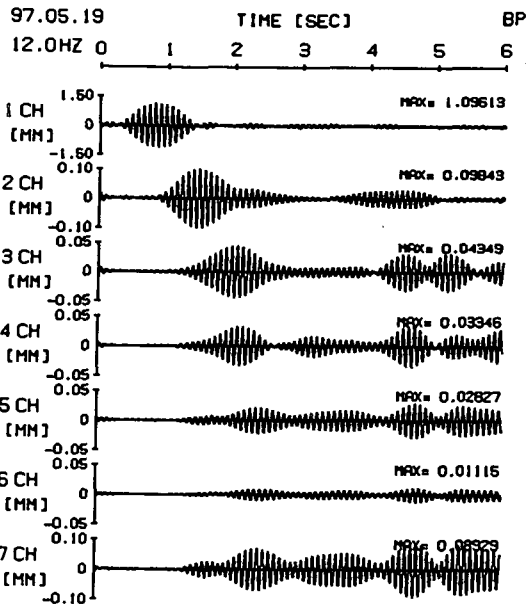


図-5 (a) 追加実験の時刻歴波形 (加振点寄り)

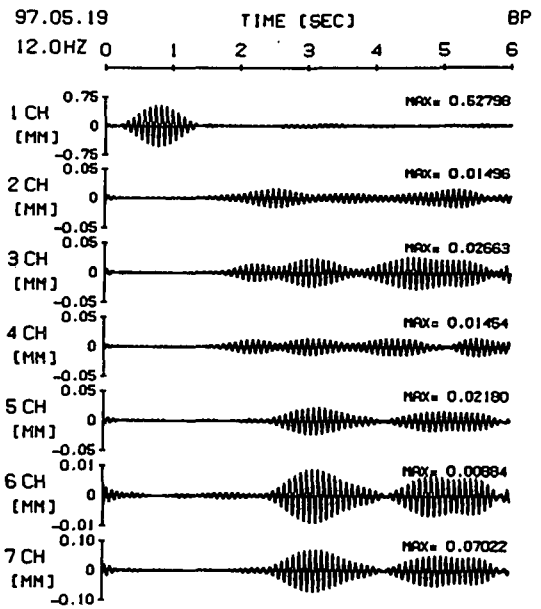


図-5 (b) 追加実験の時刻歴波形 (加振点から離れた位置)

理論分散曲線 (Love波)

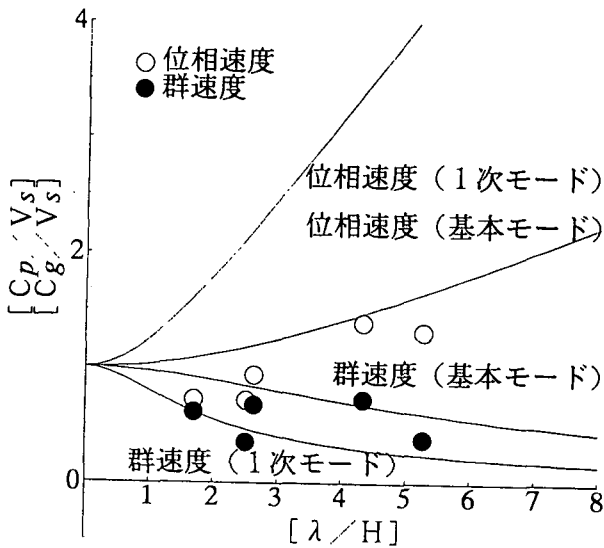


図-6 (a) 実験結果 (加振点寄り)

理論分散曲線 (Love波)

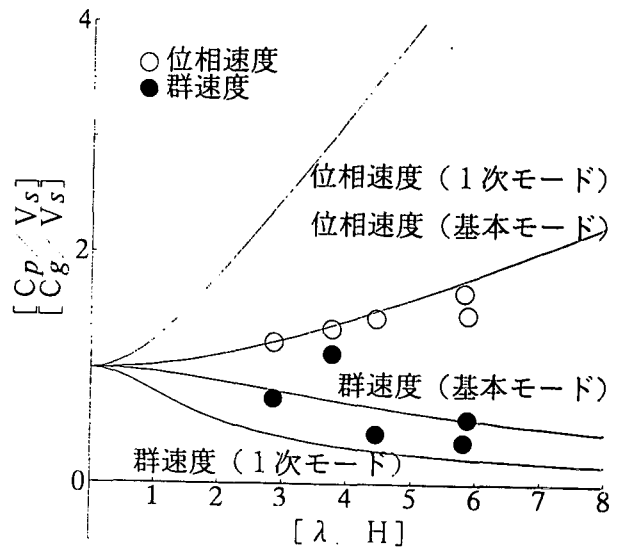


図-6 (b) 実験結果 (加振点から離れた位置)

すると波動伝播に伴い奥行き方向の変位が存在する。図-5に実験結果の一例を示す。比較的低い振動数で明瞭な波形が発生する。

加振点から近い部分と遠い部分とで得られた結果から位相速度と群速度を求めた。2つの場合の実験結果を図-6に示す。図中には、Love波の理論分散曲線を併記した。Love波状の波動の発生があると思われるが、本来あるべきRayleigh波状の波動との振幅比について検討を進めている。

5. 結び

地盤内のRayleigh波状の波動伝播問題に対する模型実験方法で改善を試みた。若干の成果を認められると考える。しかし、模型の形状の関係で、Love波状の波動が発生しやすいと思われるのでこの面での検討が必要であると思われる。

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方法, 土木学会論文集, No.489/I-27, pp.197-206, 1994年4月.