

地盤の不整形性に起因する波動現象 に対する一模型実験法

川名太¹・森地重暉²・中澤弦大³

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 (〒278-8510 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 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

³学生員 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

地盤の不整形性が波動現象に与える影響についての研究は、数値解析・強震観測等を用いて行われ、目覚ましい成果をあげてきた。このような複雑な波動現象の究明に対しては、模型実験解析も有効である。模型材料として低弾性率のアクリルアミドゲルを活用することで、動力学的現象の速さを低減させ、実験の実施を容易にした。本文では、堆積盆地を考慮した模型を作成し、下方よりSH波状の平面波を入射することによる模型の波動現象を実験的に調査した。本実験により不整形部に起因する波動現象を確認することができ、その波動はLove波状の挙動を示すことが明らかになった。

Key Words : model experiment , irregularly ground , Love wave

1. はじめに

1985年メキシコ地震では、震源から400kmも離れた堆積盆地上のメキシコ市で2~4秒の長周期の地震動が長時間継続し、超高層ビル等の固有周期の長い構造物に多大な被害を与えた。このような地震動の生成は、単純な成層構造の地盤では考えにくく、地盤の不整形性に起因していることが、数値シミュレーション等で明らかにされた。この地震に限らず、体積盆地等の地盤の不整形部が長周期地震動の発生に起因していると思われる事例が多数報告されている。

このような複雑な波動現象を究明する手段としては、強震観測・数値解析^{1),2)}があげられるが、模型実験解析も有効な手段の一つである。そこで、地盤の不整形性が波動現象に及ぼす影響を調査するために、SH波状の平面波が不整形部に伝播していくと地表面でどのような変位変動が生じるかを模型実験的に把握することにした。

2. 実験方法

例題として、盆地端部等の不整形部に起因する波動現象を模型実験的に調査することにした。模型材料としては弾性層にアクリルアミドゲル^{3),4)}を、剛基層に

は鋼材を用いた。アクリルアミドゲルは二液混合型の高分子材料であり、材料の配合によって横波速度を1~3m/s程度に調節することができる。なお、ポアソン比は0.5である。図-1に示されているように、鋼材の上に直方体状の地盤模型を作成した。模型中央より左側は一層地盤、右側は上層を柔らかくした二層地盤となっている。一層地盤及び二層地盤の下層の横波速度は1.98m/sであり、二層地盤の上層の横波速度は0.69m/sであった。一層地盤と二層地盤の境界は模型中央付近で勾配が1:1となるような傾斜層で連結されている。

この地盤模型内の中位レベルに不整形部を中心として、左右の長い範囲にジュラルミンの平板を模型表面と平行になるように埋め込み、これを奥行き方向に加振することで平面SH波を発生させた。この際、ジュラルミン板は質量が重く、横長なので、加振装置が正常に作動するように加振板の締結方法や減衰装置等に種々の工夫を施した。

本加振装置を用いて不整形部の下方より、正弦波を連続5波入射した。これにより模型表面でどのような変位変動が生ずるかをレーザー式変位計 (LB-1000/LB-040 : (株) キーエンス) を用いて測定した。測定点には、対象物として白色の物体が必要になる。そこで25mm角の白紙をストローの先端に取り付け、そのストローを模型表面に固定させた。この白紙の水平変位を測定

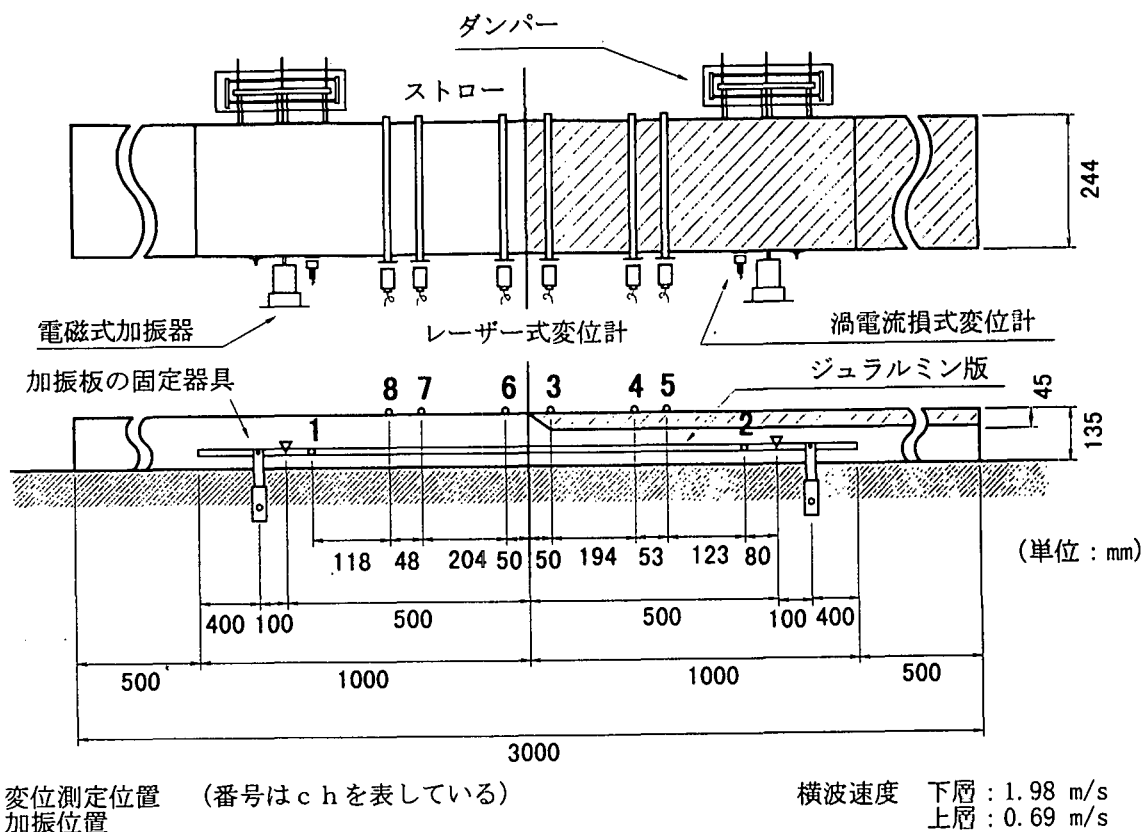


図-1 地盤模型図

することで、その位置での変位とした。

加振振動数は1.0～8.0Hzとし、0.5Hz刻みで実験を行った。また、変位波形に明瞭に変化が見られた振動数付近では0.1Hz刻みで加振振動数を变化させて詳しく調査した。

本実験を行う前に、加振装置の作動状態を調べるための予備実験を行った。予備実験では、単純な一層地盤を用い、発振に伴う模型表面での応答を調査した。ジュラルミン板の加振は、正弦波を5波入射することで行った。変位測定位置は後の本実験と比較するために図-1と同様とし、模型表面に6点設けた。その結果が図-2に示されている。変位波形の1, 2chは加振板の変動の様子を、また3～8chは模型表面での水平変位を表している。加振板両端での変動の様子はほぼ等しく、加振板が奥行き方向に対して一様に動いていることがわかる。また、加振後に後揺れが生じていないことが確認できる。加振に伴う各測定点での変位の発生状況はほぼ同時刻であった。また、各測定点における変位波形は、似通った様相を示していた。弾性層の横波速度と加振板から模型表面までの距離を用いて算定した波面の到達時刻を棒線で併記する。各測定点での変位の発生

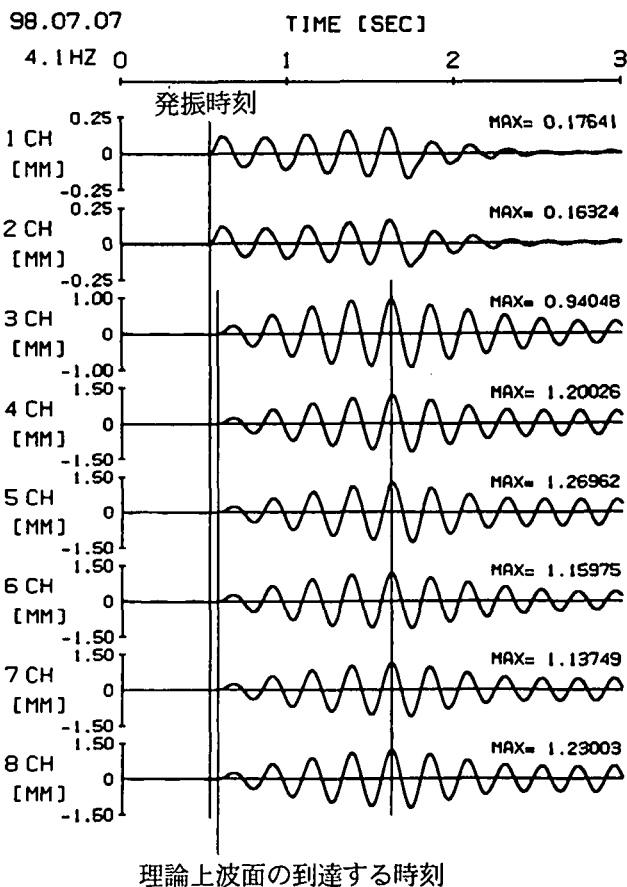


図-2 時刻歴波形 (一層地盤)

は横波によるものと考えられる。また、それぞれの変位波形の位相に注目すると位相ずれなどは確認されなかった。これにより、本加振装置を用いることによって、SH波状の平面実体波が発生できるということが示された。

3. 実験結果

図-1に示されている模型を用いて、不整形部左右で生ずる模型表面での変位時刻歴を求めた。本実験で得られた変位時刻歴の一例が図-3に示されている。1, 2chは加振板の変動の様子を表している。3～5chは二層地盤の上層表面での水平変位を、6～8chは一層地盤の模型表面での水平変位を表している。変位計と測定点の位置関係が近づく場合を、変位時刻歴では正の向きとした。

加振板の作動の状況は良好といえる。発振に伴い各測定点で変位が生じている。3～5chと6～8chの変位波形は、それぞれ波形の立ち上がりの時刻が一致している。弾性層の横波速度と加振板から模型表面までの距離を用いて、理論上波面の到達する時刻を算出し、変位波形に波線で示した。一層地盤でも二層地盤でも、変位の発生は実体波によるものと考えられる。6～8chの変位波形では、予備実験で得られたものに類似しており、それぞれの位相に注目すると位相ずれの無いことがわかる。3～5chの変位波形においては、明らかに波群らしきものが現れている。初めの変位波形には位相ずれを確認することはできない。それ故に、実体波によるものと考えられる。しかし、それ以降の変位波形には波群らしきものが現れ、それぞれの位相に注目すると位相ずれが生じているため、波が伝播していくことが確認された。これにより、二層地盤の上層内を水平方向に伝播する波動の存在が確認された。

そこで、この波動の伝播性状を調べるために位相速度と群速度を算出した。図-4に示されているように、隣り合う測定点の変位波形より、対応する位相を見つけ出し、その位相ずれと測点間距離を用いて位相速度を算出した。また、群速度の算定は次のように行った。図-5に示されているように初めに計測された波動は、模型端部境界で反射され再び計測される。この時間差と測定点から模型端部境界までの距離を用いて群速度を求め

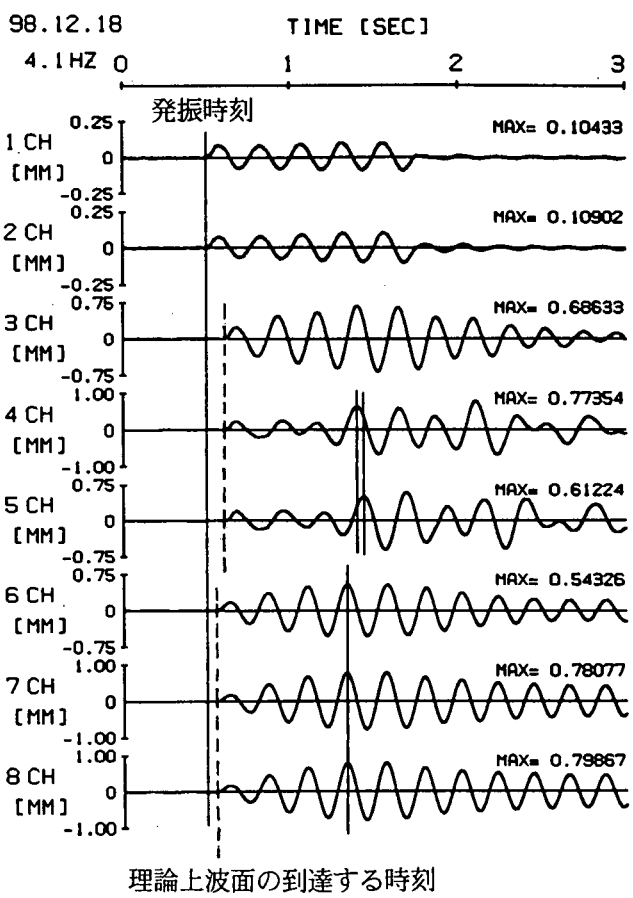


図-3 時刻歴波形の一例

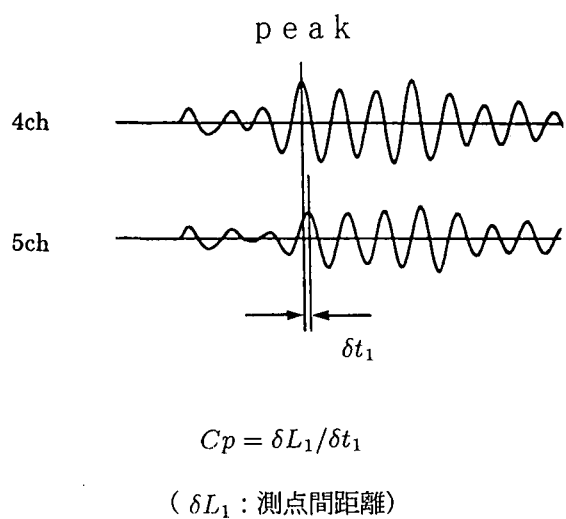
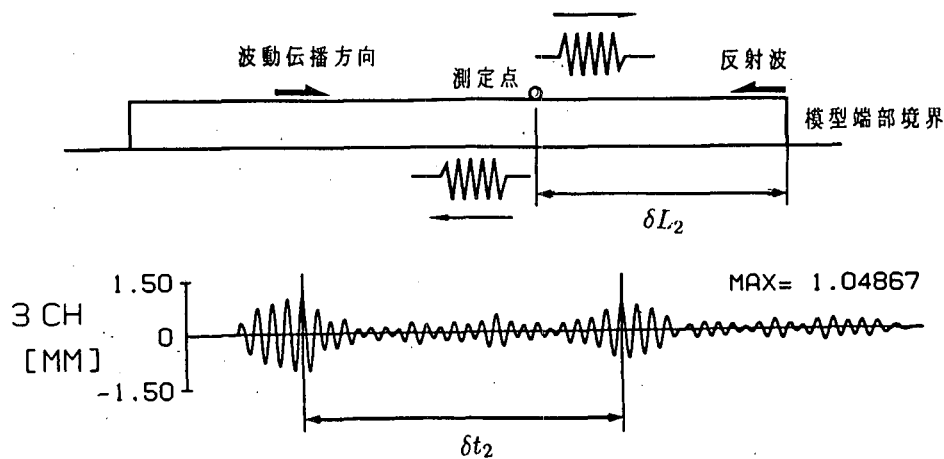


図-4 位相速度 (C_p) の算出法

た。図-6には、以上のようにして求められた各振動数における位相速度と群速度が示されている。縦軸は位相速度、群速度をそれぞれ上層の横波速度で無次元化したものを、横軸は振動数を示している。図中には、三層地盤における Love 波の理論分散曲線が併記されてい



$$C_g = 2 \delta L_2 / \delta t_2 \quad (\delta L_2: \text{測定点から模型端部境界までの距離})$$

図-5 群速度 (C_g) の算出法

る。得られた結果は、三層地盤を伝播する Love 波の分散性を呈しているといえる。

4. 結論

地盤の不整形性が波動現象に及ぼす影響を調べるために、模型実験手法の開発を試みた。本実験により、盆地端部などの不整形部に下方から来る SH 波状の平面波が入射すると、表面波が励起され、表層内を伝播することが確認された。このような複雑な波動現象の究明など、種々の課題に対して本実験方法は適用性があるものとする。

参考文献

- 1) 額額一紀：不整形地盤における地震動，土木学会論文集，No.437/I，PP.1～18，1991.
- 2) 竹中博士：不整形地盤における波動伝播の数値計算法，地震，第二輯，Vol.46，No.2，pp.191～207，1993.
- 3) 森地重暉，田村重四郎：ゲル状材料を用いた動力学的模型実験解析の一方法について，土木学会論文報告集，No.310，pp.33～44，1981.
- 4) 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.

3層地盤における Love 波の分散曲線

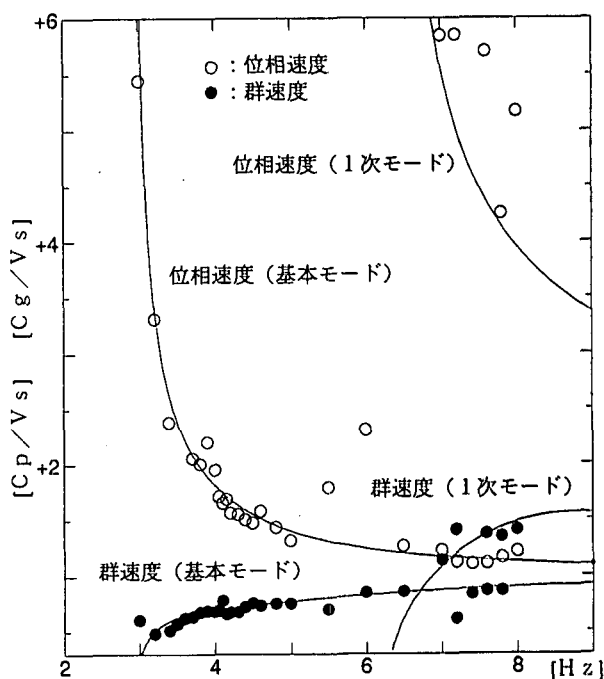


図-6 位相速度と群速度