

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

森地重暉¹・川名太²・仲澤弦大³・白戸義孝⁴

¹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)

²学生員 工修 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)

³正会員 工修 静岡ガス株式会社 (〒422-8688 静岡県静岡市八幡1丁目5番38号)

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 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

不整形地盤に生ずる波動現象を究明するための一手法としての模型実験法の開発を試みた。地盤模型材料としてアクリルアミドゲルを選定した。この材料は他の模型材料に比べて著しく低い横波速度をもつので、それを活用して実験の実施を容易にした。本文では、次の例題を用いた。剛基層上に、一層地盤と二層地盤が連結された不整形部をもつ地盤模型を作成し、下方よりSH波状の平面波を入射して模型内に生ずる波動現象を調べた。その結果、(1)二層地盤部に水平方向を伝播するLove波状の波を確認したこと、(2)不整形部では、実体波の影響が強いこと等を把握したことで、本方法の有効性を示すことができた。

Key Words : model experiment , irregularly ground , Love wave

1. はじめに

不整形地盤が震害に深く関与することは改めて述べるまでもない。1995年兵庫県南部地震では、六甲山系に平行した帯状地域で震害が著しかった^{1),2)}。このような例だけでなく、1960年チリ地震、1976年フリウリ地震、1985年メキシコ地震、1989年ロマプリエータ地震でも同様な被害のあったことが伯野の著書にも示されている³⁾。

地盤の不整形部では、震害が著しい。一方、メキシコ地震では、震央からはるか離れた埋め立て地のメキシコ市において、長周期の地震動が発生し、市内で大きな被害をもたらした。このように、地盤の不整形部での著しい震害や長周期地震動の発生等は不整形地盤に関与すると考えられており、それらについての解明は地震工学上の基本的課題である。

成層地盤や不整形地盤における地震動の増幅現象や複雑な波動現象の解明には、解析的手法として、差分法、有限要素法、境界要素法及び波線理論等が活用されており、種々の地盤条件に対する解析がなされている。額綱⁴⁾、竹中⁵⁾の論文にそれらの研究の総括がなされている。解析結果だけでなく実測記録との対比のなされているものもある。大槻等は、自身で実測した

不整形地盤での強震記録を数値解析結果と対比し、そのような地盤でのRayleigh波の生成を確認している⁶⁾。兵庫県南部地震に関しては、文献^{2),7)}に結果が示されている。最近では、Phillips等⁸⁾、Bin Zhang⁹⁾、佐藤¹⁰⁾、Boore等¹¹⁾の論文がある。

上述の解析的な、或は実測的な究明方法のほかに室内での模型実験的な究明方法がある。模型実験結果は数値解析結果の評価や確認だけでなく、数値解析での数理模型の設定にも資料を与える。強震観測や数値解析及び模型実験の成果を重ね合わせることで、より深い解明が可能になると考えられる。それ故、前二者の成果に呼応した模型実験解析の進展が期待される。模型実験の実施を計画する際に、基礎となるのは、模型材料の選定にあると思われる。不整形地盤に関与した過去の研究で用いられた模型材料として、ジュラルミン^{12),13)}、アルミニウム^{14),15)}、アクリライト^{16),17)}、プレキシグラス^{18),19)}、ポリスチレン¹⁹⁾、ポリウレタンフォーム²⁰⁾、フォームラバー²¹⁾、ゼラチンゲル²²⁾及びアクリルアミドゲル^{23),24)}等がある。実験目的により模型材料が異なるが、低弾性材料を用いると模型に生ずる波動現象の速さの低減が可能で実験の実施が容易になる。著者らは、低弾性模型材料のアクリルアミドゲルを活用して模型波動実験法の開発を行なって

きた。文献23)では、直方体状の弾性層の一点を加振することにより、表面波が発生することを確認している。また、弾性層内にある溝が波動現象に及ぼす影響について調べている。文献24)では、傾斜層内へSH波が伝播した場合の傾斜部での波動の伝播性状と応答量について調査している。アクリルアミドゲルは低弾性率のために、模型内に生ずる波動現象の発生やその把握の面で有利なだけでなく、材料の性質上、弾性率の幅広い変更が可能である。そのため、複雑な層構造の模型地盤の製作も容易になる。このような性質を活用して、前報で行なった一様な力学的性質をもつ地盤内の波動現象についての究明と異なり、地盤不整形部への波動の入射で生ずる波動現象についての実験的究明の可能性を調査したので、その結果を報告する。

2. 実験計画と実験方法

(1) 実験計画

盆地端部等の地盤の不整形性に起因する波動現象を究明するための模型実験解析手法を開発し、その有用性を調査することが本文の目的である。本文に示す手法で地盤不整形部に波動が伝播するときに生ずる波動現象を把握すべく次に示す例題の解明を計画した。

剛基層上に直方体の弾性地盤があり、長手方向には、左右で一層地盤と二層地盤が連結されている。その連結部を不整形部と考えた。また、奥行き方向には一様な形状を示す。二層地盤の下層部は一層地盤のものと同一の波速をもっており、上層部は下層部より低い波速を有している。不整形部に相当する二層地盤の上層部の端部は傾斜した直線になっている。下方よりSH平面波が伝播するときに生ずる波動現象を調べることにした。不整形部の傾斜角度は水平軸から45度ならびに90度としており、その差異が波動現象に及ぼす影響も調べている。

(2) 実験方法

a) 実験模型

上記の計画に従い、図-1に示される三種類の地盤模型を作成した。模型材料として、剛基層には鋼材を、また、弾性層にはアクリルアミドゲルを用いた。この材料は、二液混合型の高分子材料であり、配合を変動

す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。また、ポアソン比は0.50であり、単位体積重量は水とほぼ等しく1.0g重/cm³である。この材料が他の模型材料に比べて低い横波速度を有することを活用して、波動現象の速度を低減することで、実験の実施を容易にすることができる。

図-1(a)には、剛基層上の一層地盤模型が示されている。弾性層の横波速度は、1.96m/sであった。図-1(b), (c)には、実験計画で述べられた不整形部を有する地盤模型が示されている。各模型で、右側の二層地盤の上層と下層の横波速度比はほぼ1:2.5になるようにした。図-1(b)には、二層地盤の上層部の不整形部での傾斜角度が45度の場合が、また、図-1(c)には、90度の場合が示されている。前者の場合、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、二層地盤の上層のものは0.83m/sであった。後者の場合、それぞれ、1.96m/s並びに0.78m/sであった。

b) 波動の発生と観測の方法

波動の発生には、次のような工夫を施した。模型内の中位レベルに、不整形部を中心にして左右の長い範囲にジュラルミンの平板(以下、加振板と称する)を模型表面と平行になるように埋め込んだ。これを奥行き方向に加振させることで平面SH波を発生させた。図-1に示される通り、二個の電磁式加振器を用い、加振板が水平面内を動くようにした。加振板に二本の板バネをつけ、また、作成したダンパーを装着するなどして加振板が正常な動きをするように工夫した。ダンパーにはシリコンオイル(KF-96H-100万cs:信越化学工業)を用いている。加振のために、正弦振動を五回加えることにした。加振振動数は1.0~9.0Hzとし、0.5Hz刻みで実験を行った。また、変位波形の発生状況に明瞭な変動が見られた振動数付近では、0.1Hz刻みで加振振動数を変化させて現象を調べていった。

波動の伝播に伴い模型表面の奥行き方向に生ずる変位を測定した。模型表面の測定位置に奥行き方向にストローを固着して、ストロー先端の奥行き方向の変位を測定するようにした。変位の測定には、レーザー式変位計(LB-1000/LB-040:(株)キーエンス)を用いた。ストロー先端に25mm角の白紙を取り付け、この白紙の変位の測定を行なった。不整形部を中心に左右に3点ずつ測点を設けた。実験結果を比較し易くする

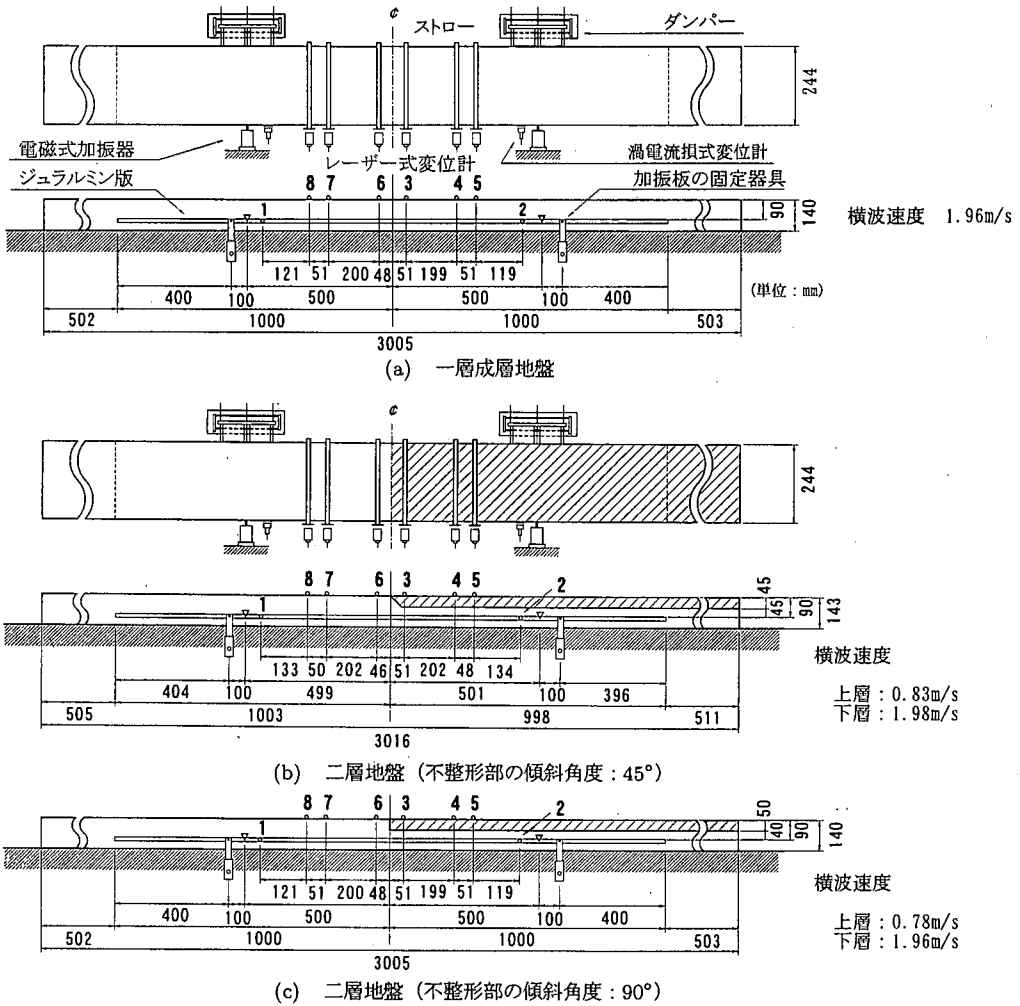


図-1 実験模型詳細図

ために、各模型に対して同様の測点になるようにした。図-1中に示される太字の番号は測点番号を意味しており、後に示されるチャンネル番号(ch番号)と一致している。なお、記録の際、サンプリング時間は1/2000秒とした。

3. 実験結果と考察

図-2には、図-1(a)に示された一層地盤に生ずる変位の時刻歴の一例が示されている。1, 2chの変位時刻歴は加振板のものを、また、3~8chは模型表面でのものを表している。これらは、波形処理のためのフィルター等を用いていない修正なしの記録である。変位

計と変位測定点とが互いに近づく場合を(+)としている。図-2を見ると、加振板両端での変位変動はほぼ同様であるため、奥行き方向に一様に動いていることが分かる。また、五波の正弦加振を行ったが、1, 2chの記録を見ると加振板の後揺れが加振後、わずかな時間で少なくなっていることが分かる。模型表面の各測定点の変位変動は、点線aa'に示される通り、同位相であり、それ故、平面波が加振板より上昇していることが分かる。変位波形の立ち上がり時刻について検討する。明らかに、1, 2chの立ち上がり時刻と3~8chのものとの差異が認められる。加振板から地盤模型表面までの距離と弾性層の横波速度を用いれば波面の到達時刻を算出することができる。発振時刻を点線cc'、理論上の波面の到達時刻を点線bb'として図中に併記する。

波形の立ち上がりと比較すると平面SH波が加振板より発生したと考えてよい。不整形部をもつ地盤に上記のように平面SH波が下方より伝播する場合にどのような波動現象が生ずるかについて図-1(b), (c)に示される模型で調査している。

図-3(a), (b)及び(c)に、図-1(b)に示される模型表面の変位時刻歴が示されている。各々、加振振動数が3.0Hz, 4.2Hz及び7.0Hzの場合の結果である。1, 2chが加振板の時刻歴であり、3~5chが二層地盤の上層部のもの、6~8chが一層地盤の表面部のものを示している。図-3(a), (b)ともに、一層地盤の6~8chではほぼ同様な変位変動を呈している。点線aa', bb'でその状況を示している。加振振動数が7.0Hzである場合の図-3(c)を見ると、不整形部より離れている7, 8chでは点線cc'に示す通り同様な変位状況になっている。6chの記録は二層地盤における変位状況に類似している。また、三者とも、二層地盤部で、加振よりやや時刻の経過した後に大きな変位を示して波の伝播らしいものが確認される。

変位時刻歴に明瞭な特徴のある図-3(b)について詳細に述べる。この時刻歴では、一層地盤と二層地盤で明らかな差異が見られる。加振に伴ない、各測定点で変位変動が生ずるが、3~5chと6~8chの変位波形は、それぞれ波形の立ち上がり時刻が一致しているように見える。上層部と下層部の横波速度と加振板と上層部と下層部の境界並びに模型表面間の距離を考慮して加振後の波動の到達時刻を算定し、加振の時刻(点線dd')と伴に点線ee', ff'で図中に併記する。変位の立ち上がり時刻と点線との一致から、最初の変位の発生は実体波によるものと考えられる。

3~5chの変位波形では、明らかに波群らしいものが確認できる。4及び5chの変位波形での位相を比較すると初めの位相については、点線gg'で示される通り、同位相となっている。これは、下方からの実体波によるものと考えられる。しかし、その後の位相については、点線hh', ii'で示す通り、位相ずれが見出される。よって、このことから下方からの実体波と異なり、水平方向に伝播する波動の存在が確認できる。3chの変位波形については、4, 5chと測定している位置が離れているので対応する位相を見つけるのは困難である。また、一層地盤上での変位波形と類似しており、実体波の影響が大きいものと考えられる。

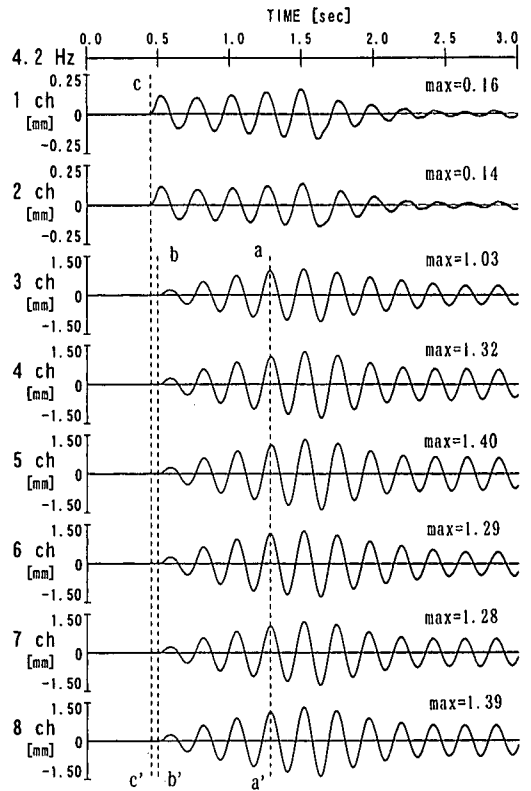


図-2 変位時刻歴 (成層一層地盤)

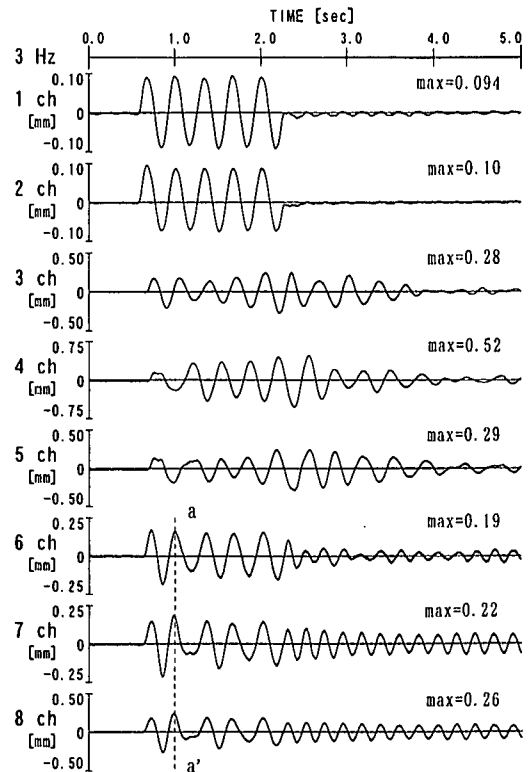


図-3 (a) 変位時刻歴 (3.0Hz 二層地盤 : 傾斜角度 45°)

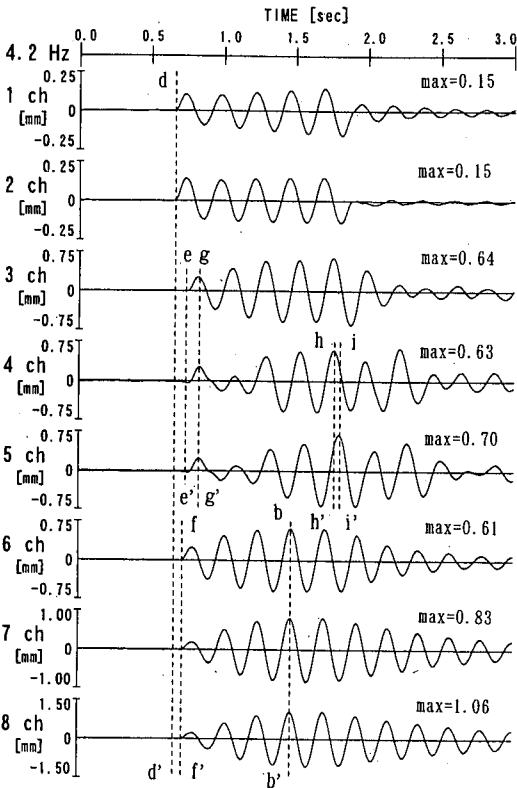


図-3 (b) 変位時刻歴 (4.2Hz 二層地盤：傾斜角度 45°)

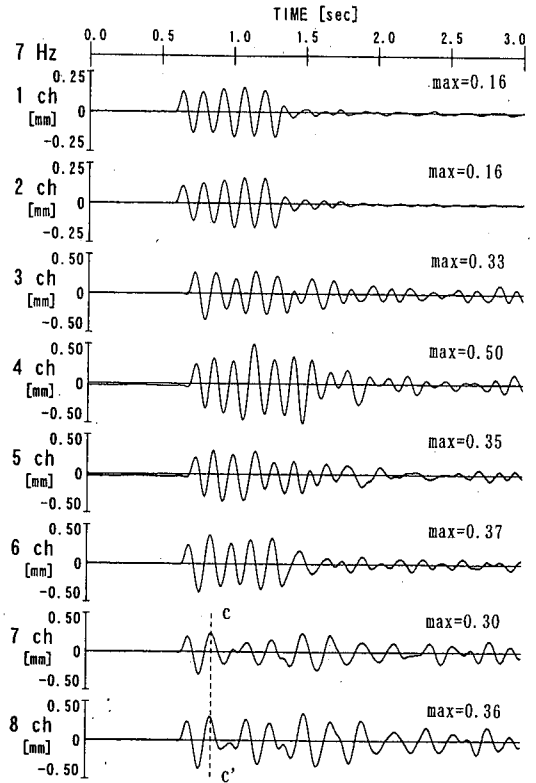


図-3 (c) 変位時刻歴 (7.0Hz 二層地盤：傾斜角度 45°)

点線 hh', ii' の時間差と測点間距離を用いて位相速度を求めることができる。また、波群も進行していることが分かる。波群の移動時間と測点間の距離を用いて群速度を求めることができる。ここでは、正確さを期して、波動が水平方向に伝播してゆき模型右端部にて反射し、再び同じ測点で観測されるまでの時間 t と測定点から模型端部境界までの距離を L として用いている。図-4 に結果の一例が示されている。伝播距離が飛躍的に長くなるため、結果は良好であった。各加振振動数での結果を用いて位相速度と群速度を求め、結果を図-5 中に示す。横軸には振動数 (Hz) が、縦軸には位相速度 (C_p) 群速度 (C_g) をそれぞれ上層の横波速度 (V_g) で除したものが示されている。図中に Love 波の理論分散曲線が併記されている。剛基層上にある二層の弾性層内を伝播する Love 波についての解析は、補遺に示されている。高い振動数の領域では、一つの振動数に対する結果が複数個、表されている。高い振動数で加振すると、模型内には複数のモードの波が同時に生じているものと考えられる。4ch の変位波形のひとつの位相に対して、5ch の変位波形よりそれに対

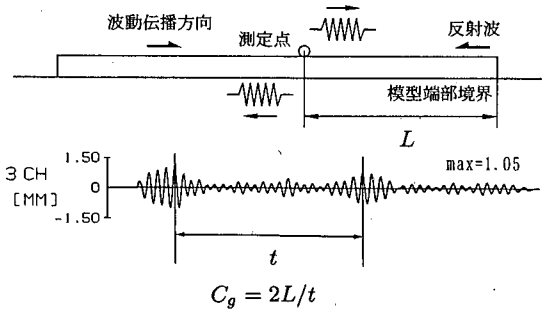


図-4 群速度の算出法

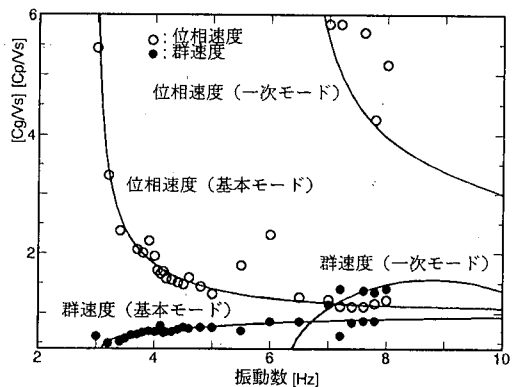


図-5 位相速度 (C_p) と群速度 (C_g) の結果 (傾斜角度: 45°)

応すると思われる位相をいくつか選び、それぞれの位相のずれより位相速度を算出している。図における実験結果は、理論的に説明されると考えられる。図-2の結果と併せて考えると、不整形部の存在で、表面波が発生することが本実験でも確かめられたといえる。

次に不整形部の形状の相異が波動現象に及ぼす影響を調べるために、不整形部の傾斜角度を90度に変更して同様の実験を行っている。図-6に加振振動数が4.2Hzの場合の実験結果が示されている。他の加振振動数の場合でも、傾斜角度が45度の模型の場合と類似した結果になった。この図-6の状況は図-3(b)と酷似している。すなわち、二層地盤部においては、点線hh', ii'に示される通り位相差が生じているために伝播する波動を確認することができる。図中には、波動の発生時刻を点線dd'で、また、SH波の地盤表面への到達時刻を点線ee', ff'で指し示している。図-5の場合と同様に、各振動数に対して、二層地盤表面での記録から波動の位相速度 (C_p) と群速度 (C_g) を求めて、分散状況を図-7に示している。横軸は振動数 (Hz)、縦軸は位相速度、群速度を横波速度 (V_s) で除したものを示している。図中に理論結果を併記する。実験結果と理論結果はよい一致を示しているといつて良い。このように傾斜角度の相異に関わりなく、二層地盤部で表面波の発生が確認された。

4. 地盤の不整形部近くでの波動現象

(1) 実験計画と実験概要

前章では、地盤の不整形部より比較的離れた箇所における現象の観察を行なった。本文に示す波動の発生方法によれば、二層地盤部で不整形部に起因して表面波の発生することを模型実験的に確認することができた。本章では、前章と異なり、不整形部近くにおいて、どのような波動現象を呈するか調べることにした。

先の実験で用いた地盤模型とほぼ同様なものを作成した。不整形部近くの二層地盤表面に波動伝播により生ずる変位変動を測定するために、図-8に示されるような実験を行なった。図-8(a), (b)には、各々45度並びに90度の傾斜角度をもつ傾斜層で連結された実験模型の一部が示されている。一層地盤及び二層地盤の下層部の横波速度は各々1.98m/s並びに1.96m/sであ

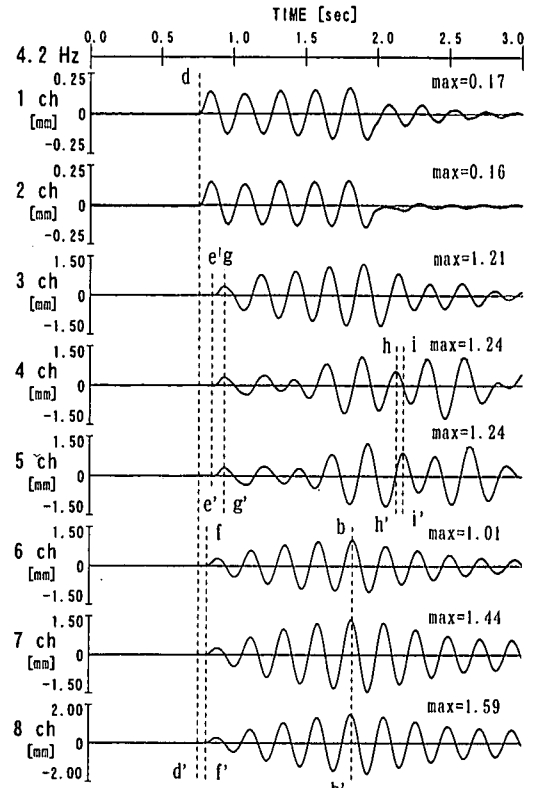


図-6 変位時刻歴の (4.2Hz 二層地盤：傾斜角度 90°)

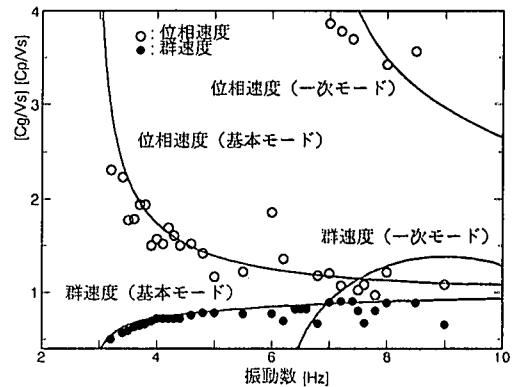
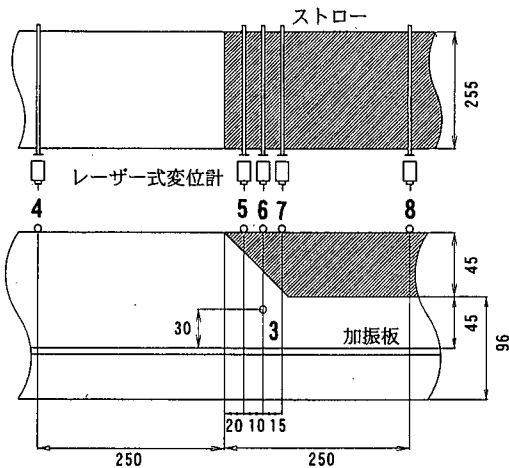


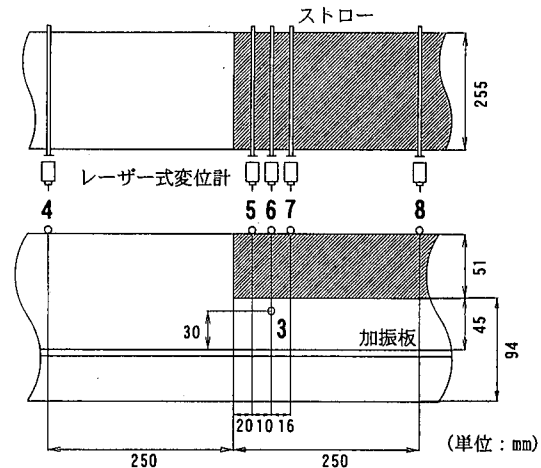
図-7 位相速度 (C_p) と群速度 (C_g) の結果 (傾斜角度：90°)

り、また、二層地盤の上層部の横波速度は各々0.83m/s並びに0.79m/sである。変位の測定位置は太字の数字で示されており、3~8chとなっている。5~7chは不整形部近くの二層地盤表面の測定位置になっている。本実験での4ch並びに8chは前章の図-3に示された7ch並びに4chの測定位置に対応している。波動の発生方法は、前章と同様とした。



横波速度 上層 : 0.83m/s 下層 : 1.98m/s

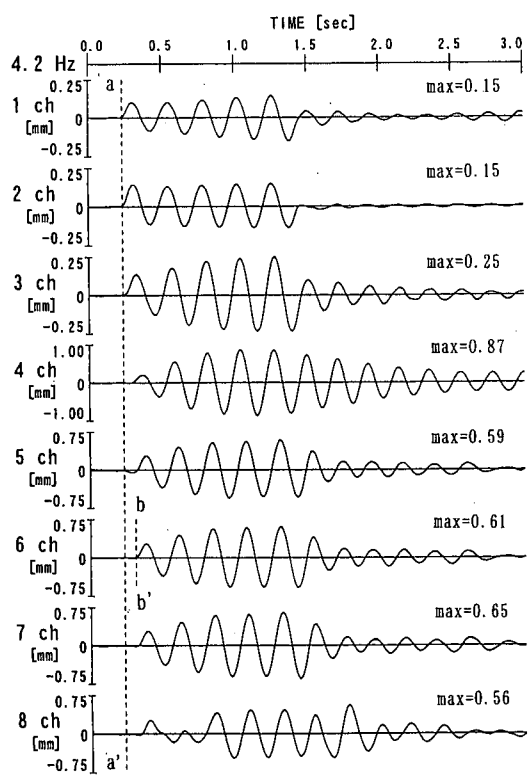
(a) 傾斜角度45°



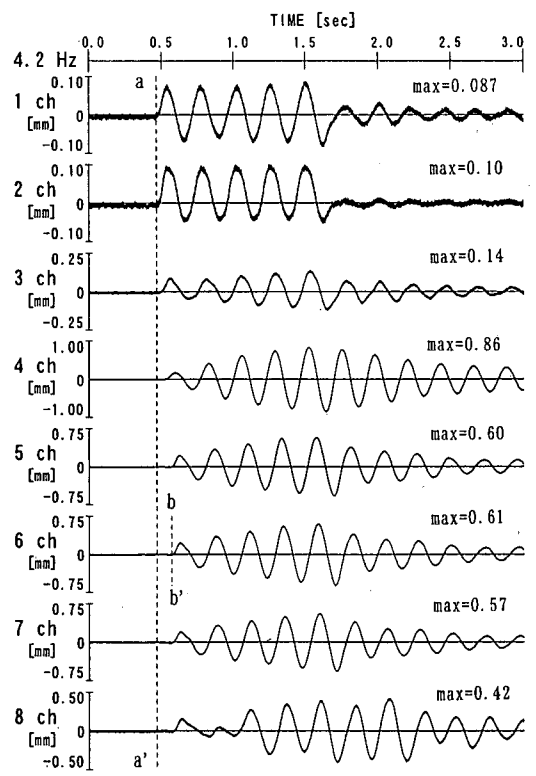
横波速度 上層 : 0.79m/s 下層 : 1.96m/s

(b) 傾斜角度90°

図-8 実験模型図 (不整形部付近に測定点を設置した場合)



(a) 傾斜角度45°



(b) 傾斜角度90°

図-9 変位時刻歴の一例 (不整形部付近に測定点を設置した場合)

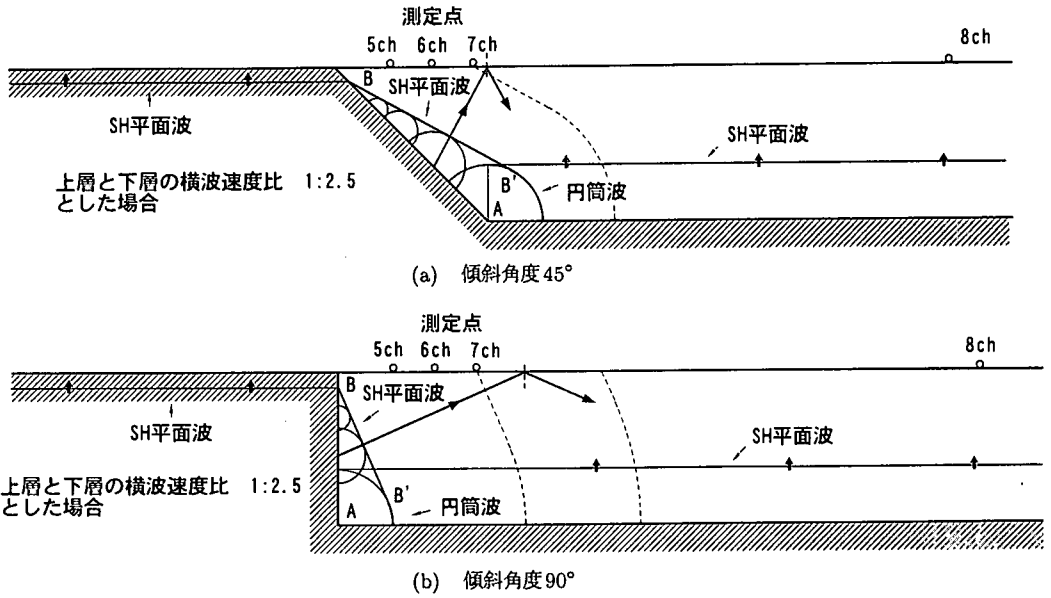


図-10 不整形部付近での波面の状態

(2) 実験結果と考察

実験結果の一例が図-9に示されている。前章と同様、波動現象が明瞭に見られた4.2Hzの場合の例である。1, 2chは加振板の時刻歴である。8chを見ると波群が移動しており、明らかに二層地盤での波動の伝播が確認される。また、4chの記録で示される通り、一層地盤の動きも前章と同様である。

5, 6ch及び7chの結果に着目する。それらの記録を概観すると図-9(a)では、五回の正弦加振のあと振幅が小さくなっている様子が出ているが、図-9(b)ではそのような状況になっていない。図中に波動の発生し始めた時刻と波動が各測定点に到達した時刻が点線で示されている。点線aa'は、発振時のもの、また、点線bb'は6chの変位立ち上がり時刻を示している。図-9(a)のものと図-9(b)のものとを比較すると、明らかに後者のものが前者に比べて遅く到達している。

このような結果を検討するために、波線理論を用いた。図-10には、下層からSH平面波が上方に伝播していくときの波面の状況を示している。二層地盤の境界部から伝播する波動と一層地盤で生ずる波面とは水平になり横波速度の関係から図のように段差がつくが、傾斜層部分では、一層地盤部での平面波の進行に伴ってBB'に示されるようなSH波が進行してゆく。また、傾斜層と二層地盤部での上層部と下層部の境界面の交

表-1 波面の到達時刻(秒)

	傾斜角度45度		傾斜角度90度	
	実験値	理論値	実験値	理論値
5ch	0.068	0.059	0.076	0.072
6ch	0.076	0.065	0.098	0.084
7ch	0.086	0.074	0.10	0.088
8ch	0.094	0.079	0.10	0.088

点Aからは円筒波が伝播して行く。

波面BB'が伝播して、各測定点に到達する。このような考察に基づいて、各測定点への波動の到達時刻を求め、実測値と比較した結果が表-1に示されている。波線理論で得られた波面の到達時刻は実験結果を説明すると考える。よって、二層地盤近傍では、実体波の影響を受け、やや離れた位置で表面波の発生が見られることが、実験的にも示された。

この振動数では、加振板の振幅と各測定点での振幅の比率とを比較すると、明らかに傾斜角度が90度の場合のほうが大きな応答量を示す。加振板と3chの変位の倍率は双方とも同程度である。よって、傾斜層の角度が応答量に影響を与えていると考えられる。前章においての結果も同様な傾向を呈した。この種の課題には、詳細な究明を必要とする。本文では、付言するに止める。

5. 結び

低弾性材料を活用し、不整形地盤に生ずる波動現象を把握するための模型実験を試行した。不整形部の左側に一層地盤、右に二層地盤の接合している模型を剛基層上に作り、下方から平面SH波が入射するとき、どのような波動現象が生ずるか調べた。二層地盤において、不整形部の近くでは実体波の影響が強く、不整形部より離れると表面波が生成されることが実験的に確認された。以上の結果を得たことで本実験方法の有効性を示すことができた。

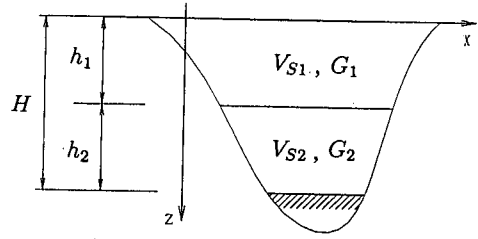


図-1.1 地盤模型

6. 補遺

剛基層上にある二層地盤内を伝播するSH波状の表面波について

次のように記号を定める。

$$\left\{ \begin{array}{l} V_s \quad : \text{横波速度} \\ G \quad : \text{せん断弾性率} \\ h \quad : \text{層厚} \\ x, z, t \quad : \text{座標系, 時間} \\ C, \lambda, k \quad : \text{位相速度, 波長, 波数} \\ u \quad : \text{変位} \\ i \quad : \text{虚数単位} \end{array} \right.$$

$$u_j = A_j \exp[i \frac{2\pi}{\lambda} (x - ct)] \cdot f_j(z) \quad (1)$$

式中

$$f_j(z) = a_j \sin k_j z + b_j \cos k_j z$$

$$k_j = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{C^2}{V_{s2}^2} - 1}$$

$j = 1, 2$ であり、各々、表層並びに基層を示している。

境界条件と連続条件、即ち $z = 0$ でせん断応力が0、 $z = h_1$ でせん断応力と変位が連続する、及び、 $z = H$ で変位が0という条件を考慮すると、次の特性方程式を得ることができる。

$$\frac{G_2 k_2}{G_1 k_1} - \tan k_1 h_1 \cdot \tan k_2 h_2 = 0 \quad (2)$$

表層と基層の密度が等しいとすると次に示す式を得ることができる。

$$\frac{V_{s2}^2 \sqrt{\frac{C^2}{V_{s2}^2} - 1}}{V_{s1}^2 \sqrt{\frac{C^2}{V_{s1}^2} - 1}}$$

$$- \tan \frac{2\pi h_1}{\lambda} \sqrt{\frac{C^2}{V_{s1}^2} - 1} \cdot \tan \frac{2\pi h_2}{\lambda} \sqrt{\frac{C^2}{V_{s2}^2} - 1} = 0 \quad (3)$$

なお、本文では横軸に振動数を用いている。上式を用いるときに波長と振動数との積が位相速度であることを考慮すれば良い。群速度は位相速度を用いて算定す

る。二つの特別な場合を示す。

(a) $V_{s1} = V_{s2}$ の時、式(3)は次のようになる。

$$1 - \tan \frac{2\pi h_1}{\lambda} \sqrt{\frac{C^2}{V_{s1}^2} - 1} \cdot \tan \frac{2\pi h_2}{\lambda} \sqrt{\frac{C^2}{V_{s2}^2} - 1} = 0$$

加法定理を用い、 $H = h_1 + h_2$ であることを考慮すると次の式になり、この式は剛基層上にあるLove波の位相速度を与える。

$$\tan \frac{2\pi H}{\lambda} \sqrt{\frac{C^2}{V_{s1}^2} - 1} \rightarrow \infty$$

(b) $V_{s2} > C > V_{s1}$ の条件の下で、式(3)は次の形をとる。

$$\frac{V_{s2}^2 \sqrt{1 - \frac{C^2}{V_{s2}^2}}}{V_{s1}^2 \sqrt{\frac{C^2}{V_{s1}^2} - 1}}$$

$$- \tan \frac{2\pi h_1}{\lambda} \sqrt{\frac{C^2}{V_{s1}^2} - 1} \cdot \tanh \frac{2\pi h_2}{\lambda} \frac{h_2}{h_1} \sqrt{1 - \frac{C^2}{V_{s2}^2}} = 0$$

$h_2 \gg h_1$ のとき上式は次の形になる。これは、半無限体上の表層内を伝播するLove波の特性方程式である。

$$\frac{V_{s2}^2 \sqrt{1 - \frac{C^2}{V_{s2}^2}}}{V_{s1}^2 \sqrt{\frac{C^2}{V_{s1}^2} - 1}} - \tan \frac{2\pi h_1}{\lambda} \sqrt{\frac{C^2}{V_{s1}^2} - 1} = 0$$

参考文献

- 1) 田村重四郎: 地盤と地震被害, 山海堂, ISBN4-381-00990-8, 1996.
- 2) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会: 阪神淡路大震災調査報告, 共通編, ISBN48106-0216-8, 1998.
- 3) 伯野元彦: 被害から学ぶ地震工学, 鹿島出版会, ISBN306-02291C1044, 1992.
- 4) 額瀨一紀: 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.
- 5) 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.
- 6) 大槻明, 田蔵隆, 清水勝美: 傾斜地盤を有する不整形地盤の地震時挙動と地盤ひずみ, 土木学会論文集, No.350/I-2, pp.291~300, 1984.

- 7) 永野正行, 工藤一嘉, 竹村雅之: 神戸市長田区における地下構造の不整形性を考慮した1995年兵庫県南部地震 (Mj=7.2) の余震アレイ観測結果のシミュレーション解析, 地震, 第二輯, Vol.52, pp.25~41, 1999.
- 8) Phillips, W.S., Kinoshita, S. and Fujiwara, H.: Basin induced Love Waves Observed Using the Strong Motion Array at Fuchu, Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.83, No.1, pp.64~84, February, 1993.
- 9) Bin Zhang and Apostolos S. Papageorgiou: Simulation of the Response of District Basin, San Francisco, California, to the 1989 Loma Prieta Earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.86, No.5, pp.1382~1400, October, 1996.
- 10) Sato, K., Higashi, S., Sasaki, S. and Toki, K.: Evaluation for Local Site Effect of Sedimentary Basin Taking into Account Incident Wave Field, *J. Struct. Mech. Earthquake Eng.*, JSCE, No.626/I-48, July, 1999.
- 11) David M. Boore: Basin Wave on a Seafloor Recording of the 1990 Upland, California Earthquake: Implication for Ground Motions from a Larger Earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.89, No.1, pp.317~324, February, 1999.
- 12) Martel, L., Munasinghe, M. and Farnell, G.W.: Transmission and Reflection of Rayleigh Wave through a Step, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.67, No.5, pp.1277~1290, October, 1977.
- 13) Pilant, W.L., Knopoff, L. and Schwas, F.: Transmission and Reflection of Surface Wave at a Corner 3. Rayleigh Waves (Experiment), *Jour. Geophys. Res.*, Vol.69, No.2, pp.291~297, 1964.
- 14) Rogers, A.M., Katz, L.J. and Benett, T.J.: Topographic Effects on Ground Motion for Incident P Waves, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.67, No.2, pp.437~456, 1974.
- 15) Bullet, J.T. and Toksoz, M.N.: Three-dimensional Ultrasonic Modeling of Rayleigh Wave Propagation, *Bull. Seis. Soc. Am.*, Vol.75, No.4, pp.1087~1104, 1985.
- 16) Fujii, K., Takeuchi, S., Okano, Y. and Nakano, N.: Wave Scattering at Various Corner, *Bull. Seis. Soc. Am.*, Vol.74, No.1, pp.41~60, 1984.
- 17) Niwa, Y., Hirose, S. and Nakatani, S.: Model Studies on Scattering of Elastic Waves in a Half Space, *Proc. JSCE*, No.368/I-5, pp.73~82, April, 1986.
- 18) Kuo, J.T. and Thomson, G.A.: Model Studies on the Effect of a Sloping Interface on Rayleigh Waves, *Jour. Geophys. Res.*, Vol.68, No.22, pp.6187~6197, 1963.
- 19) McGarr, A. and Alsop, L.E.: Transmission and Reflection of Rayleigh Waves at Vertical Boundaries, *Jour. Geophys. Res.*, Vol.72, No.8, pp.2169~2180, 1967.
- 20) King, J.L. and Blune, J.N.: Modelling the Seismic Response of Sedimentary Basins, *Bull. Seis. Soc. Am.*, Vol.71, No.8, pp.1469~1487, 1981.
- 21) Anoooshehpour, A. and J.N. Blune: Rubber Modelling of Topographic and Dam Interaction Effects at Pacoima Dam, *Bull. Seis. Soc. Am.*, Vol.79, No.5, pp.1347~1360, 1989.
- 22) 森地重暉, 田村重四郎: ゲル状材料を用いた動力的模型実験解析の一方について, 土木学会論文報告集, No.310, pp.33~44, 1981.
- 23) 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.
- 24) 森地重暉, 君島信夫, 西寫望, 土居誠, 川名太: 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.

(2000. 5. 30 受付)

A METHOD OF CONDUCTING MODEL EXPERIMENTS ON WAVE PROPAGATION PHENOMENA CAUSED BY IRREGULAR GROUND

Shigeaki MORICHI, Futoshi KAWANA, Gendai NAKAZAWA
and Yoshitaka SIROTO

A method of conducting model experiments on wave propagation phenomena caused by irregular ground was developed. Acrylamide gel was used as the ground model material, which slows down the wave phenomena because of its low elasticity. The ground model layers were made on a rigid base. The left-side layer of the ground model and two right-side layers were connected at the center of the model. By inducing SH waves in the vertical direction, wave phenomena due to the irregular ground were researched. The following results were obtained in (1) Love waves in the horizontal direction produced in the two-layer ground were verified. (2) In the vicinity of irregular part, wave phenomena depended strongly on body waves. The applicability of this method was thus demonstrated.