

不整形地盤に生ずる波動現象に対する 三次元模型実験の一方方法

川名 太¹・森地 重暉²・越野 晴秀³

¹正会員 工修 東京理科大学大学院博士課程 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

²正会員 工博 東京理科大学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修士課程 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

実験方法の有効性を調べるために、不整形地盤に生ずる波動現象の解明を三次元模型実験法により試行した。実験は、三種類の地盤模型を用いて行なった。成層の一層地盤、奥行き方向に様な形状を持つ不整形地盤及び盆地状の不整形地盤を用い、相互の結果を比較した。下方より模型表面に対して45°の角度でパルス状の平面SH波を入射し得る装置を製作し、それにより生ずる模型表面での変位を測定した。一層の成層地盤と不整形地盤における変位の発生状況を比較すると、成層地盤においては、SH波の影響を把握でき、不整形地盤においては三次元的な影響が確認できた。このように、不整形地盤に対する波動現象の把握に本実験方法が使用可能であることが示された。

Key Words : 3D model wave experiment, Irregular ground problem, SH wave due to SH wave

1. はじめに

波動伝播に伴う地盤の挙動を究明することは地震工学上、基本的な課題である。この種の究明のために数値解析や強震観測等が行なわれ、それらの進展は著しい。また、その他のアプローチとして模型実験法がある。模型実験は数値解析模型の評価や現象の直感的把握に有効で、前二者の進展に呼応した普及が望まれると考える。著者等は、低弾性の模型材料を用いることで、模型に生ずる波動現象の速さを低減し、実験実施面で有利にする方法の開発を行ってきた。本文では、不整形地盤に生ずる波動現象を3次元模型により把握し、実験結果を究明することで本実験方法の有効性を調査した。

2. 実験計画と実験方法

実験は、成層の一層地盤、奥行き方向に様な形状を持つ不整形地盤及び盆地状の不整形地盤等、3種類の地盤について行なった。前出の模型を以下では、一層地盤、二次元不整形地盤及び三次元不整形地盤と呼ぶことにする。不整形地盤は二層のものと、上層と下層の横波速度比を1:2.5程度となるようにした。模型の詳細が図-1(a)~(c)に示されてい

る。いずれの模型でも、下方から模型表面に向けて45°の角度でパルス状の平面SH波を入射させて、自由表面に生ずる変位を測定した。実験で得られた三者の結果を比較することで、地盤の不整形性が波動現象に及ぼす影響を調べた。

地盤模型材料として、アクリルアミドゲル^{1), 2)}を用いた。この材料は、低弾性のために波動速度が遅いので、動的現象の速さの低減が可能である。また、2液混合型高分子材料であるので配合による弾性率の調節が可能である。それ故、現象の把握、模型製作及び波動の発生等の実験実施面で有利となる。

実験に用いた弾性層は直方体(800mm×800mm×300mm)のものと、内部に加振板を挿入した。弾性層は鉄板上に設置した。波動を生成する加振板には、アルミニウムの平板を用い、模型表面に対して45°の角度をもたせて弾性層内の中位レベルに設置した。この加振板を打撃することで平面SH波を発生させた。ハンマーを振り子の先端に取り付け、一定の高さから振り子を振らせて、ハンマーが板に当たるようにした。加振板にはガイドとストッパーを取り付け、一定方向に変位するようにした。また、ハンマーの衝突後にゴムの復元力を利用して加振板が急速に初期位置へ戻るように工夫した。波動の発振装置の概要が図-2に示されている。変位の測定には渦電

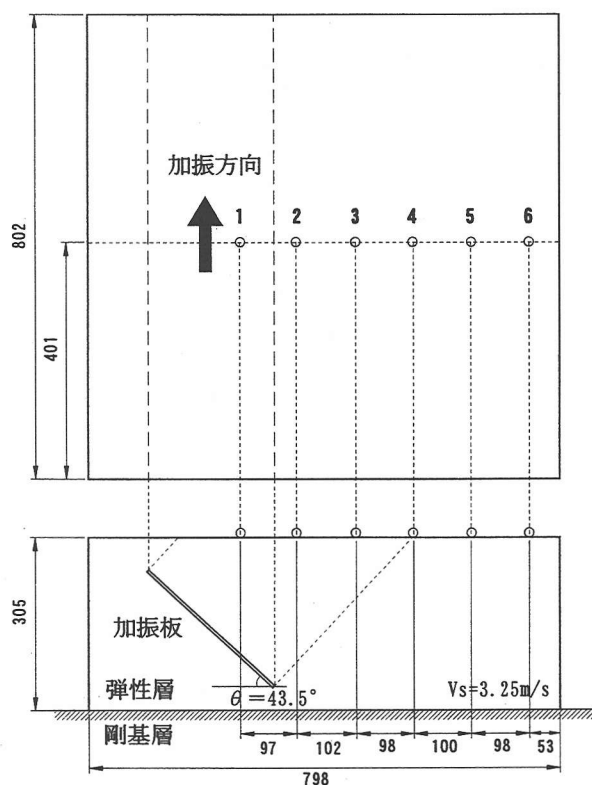


図-1(a) 一層地盤

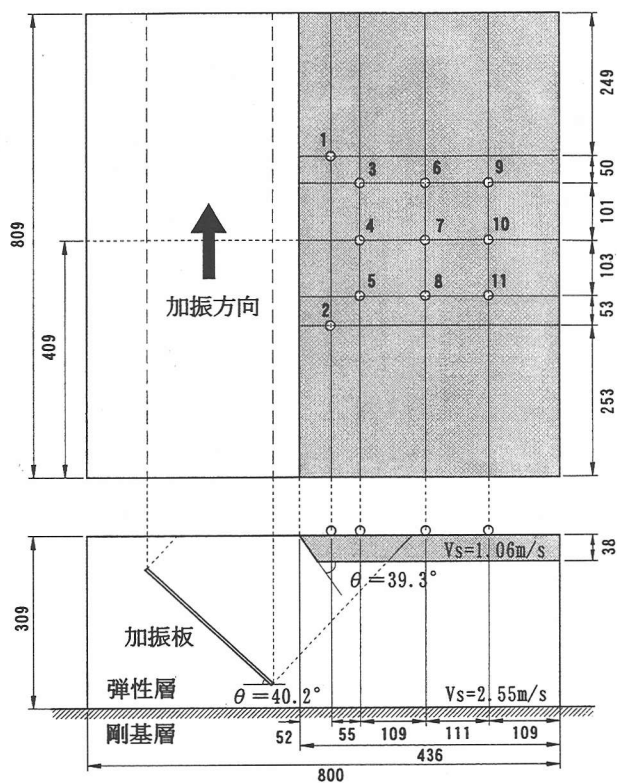


図-1(b) 二次元不整形地盤

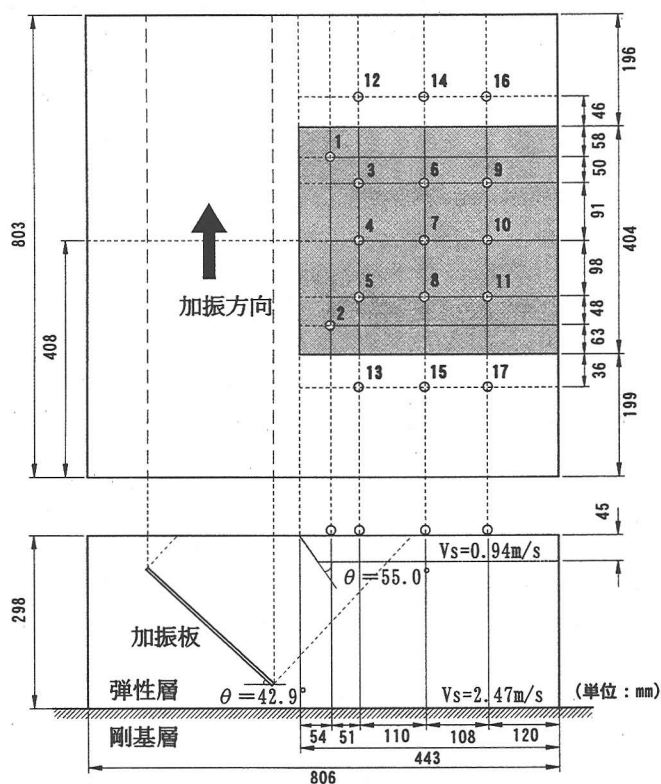


図-1(c) 三次元不整形地盤

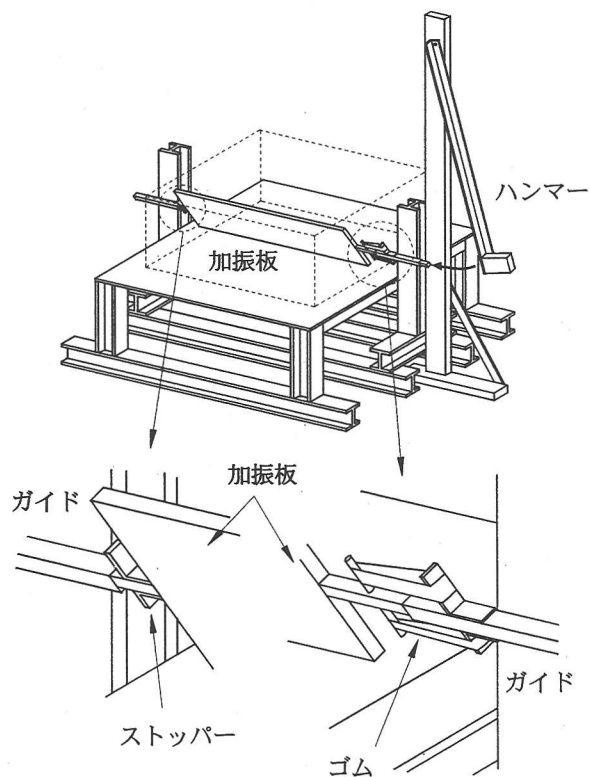


図-2 発振装置

流損式変位計とレーザー式変位計を用いた。変位測定位置に紙製のピラミッド型の5面体を固定し、それにレーザー光を照射して3方向の変位を測定した。変位測定位置は模型自由表面上とし、図-1の各実験模型内に太字の番号で示されている。二次元不整形

地盤では、測点1~11を軟層地盤上に設置した。また、三次元不整形地盤については、測点1~11を軟層上に、測点12~17を硬層上に設置した。加振板の変位測定には渦電流損式変位計を用いた。サンプリング周波数は1000Hzとし、4秒間の記録を得ている。

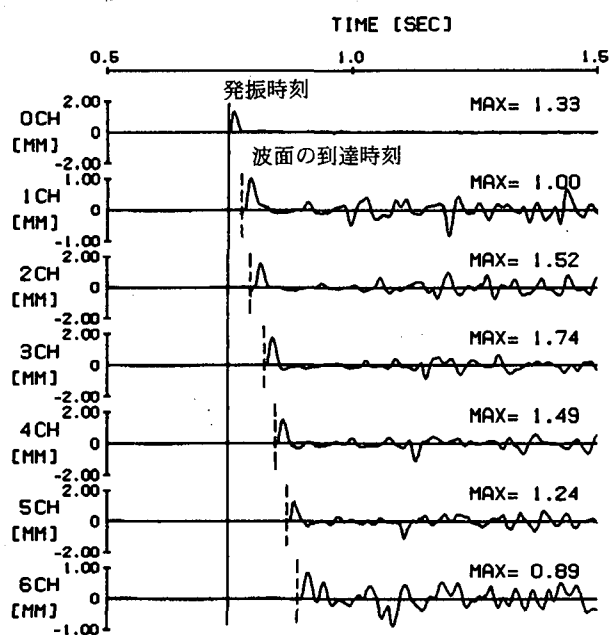


図-3(a) 実験結果 (一層地盤)

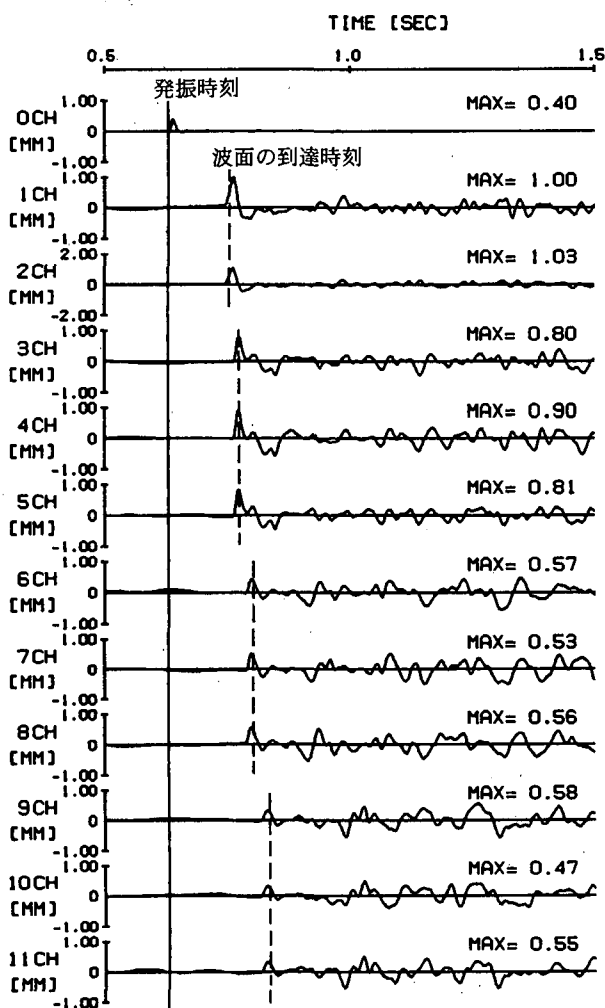


図-3(b) 実験結果 (二次元不整形地盤)

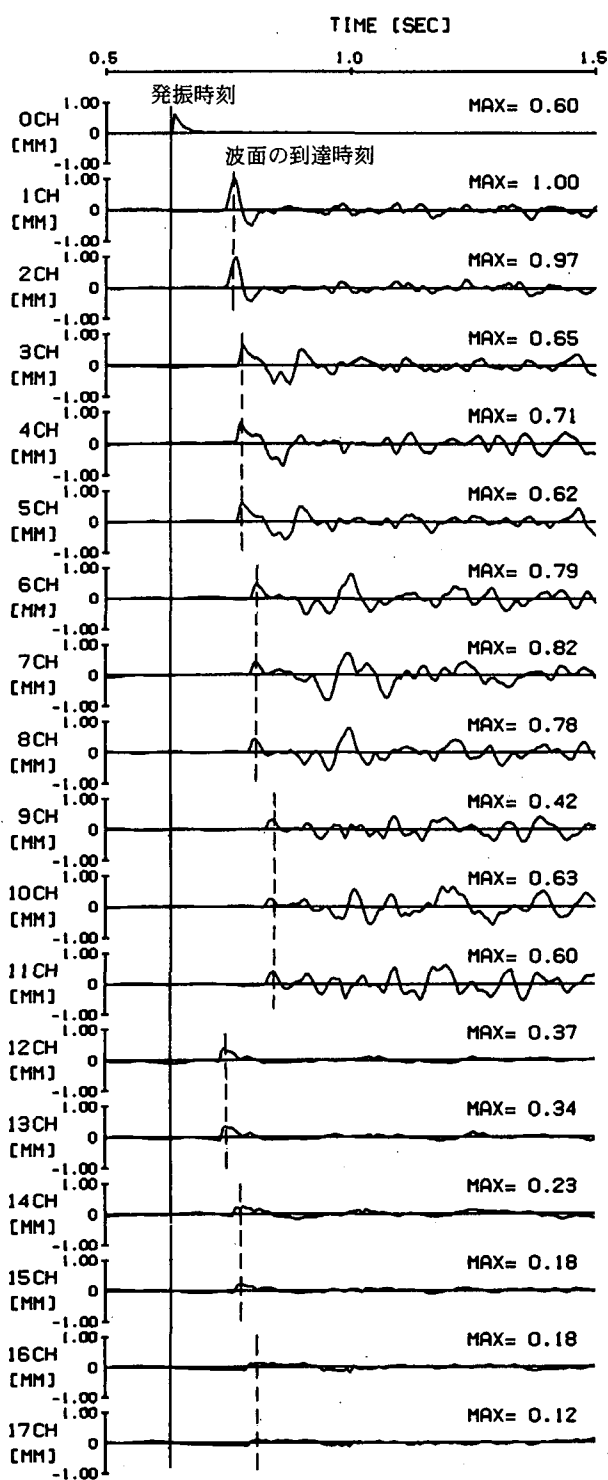


図-3(c) 実験結果 (三次元不整形地盤)

3. 実験結果と考察

図-3(a)~(c)には、各実験で得られた結果が示さ

れている。実験実施面で、1回の加振で全ての測定点の変位を測定することは不可能だったので、数回の加振で変位を測定した。その際に、CH1の変位との関係を得るために、必ずCH1と他のCHの測定を行った。図-3には、1chの加振方向の最大振幅で各測定点の変位を正規化したものが示されている。測定結果から加振方向、上下方向及び加振方向と直交した方向の3方向の変位を算定したが、各実験とも加振方向の変位が圧倒的に大きかったので、そのの

みを図示している。図中、0ch は加振板の変位を示している。変位波形の各 ch は、図-1 における測点番号と一致している。

三者の実験結果より、第一波目に各測定点にパルス状の波が到達していることが分かる。到達時刻を検討するために、波線理論を適用した。一層地盤については、加振板から各測定点までの最短経路と弾性層の横波速度を用い、理論上の SH 波の到達する時刻を算出した。また、不整形地盤においては、スネルの法則を適用して、伝播経路を求め、弾性層の横波速度を用いて、波面の到達時刻を算出した。図中に、発振時刻と共に、理論上の波面の到達時刻を点線で示した。実験結果との比較から、各測定点での変位の発生は、加振に伴う平面 SH 波によるものと考えられる。

不整形地盤における二者の実験結果を比較する。一層地盤の結果と比べて複雑な様相を呈している。3～5ch、6～8ch 及び 9～11ch は、加振板からそれぞれ同距離の変位を示している。二次元不整形地盤の実験では、加振板から同距離の測点では、ほぼ同様な変位の発生状況が見て取れる。このことより、模型内では模型奥行き方向に一樣に現象が生じていることがわかる。また、一波目の波が到達した直後に次の波が到達している。加振板から離れるほど、一波目の波と次の波の発生する時刻の差が大きくなっている。変位の生成は、上層の低速度層内に取り込まれた波によるものであると考えられ、不整形部の影響が生じているものと思われる。

三次元不整形地盤の実験では、模型中央より対称の位置にある 3ch と 5ch、6ch と 8ch、9ch と 11ch では類似した変位を示しているといえる。しかし、模型の中央に位置する 7ch、10ch では、それぞれ両隣の測定点のものとは異なった様相を呈していて、実験模型の三次元的な影響によるものと思われる。また、硬層上に位置する 12～17ch の変位は、軟層上でのものより明らかに小さいことがわかる。

三次元不整形地盤でも二次元不整形地盤と同様、軟層上の変位波形には、一波目に到達する波の後に大きな振幅のものが生じていることがわかる。このことは、軟層内に波動がこもったことに起因すると考えられる。図-4 には、1ch の変位波形の最大振幅で各測定点での振幅を除した応答比が示されている。図-4(a) には、一波目の波のものが、また、図-4(b) には一波目以降に到達する振幅の大きな波についてのものが示されている。図中の数字は、測定点の番号を意味している。一波目については、加振板に近い測点ほど応答倍率が大きい。しかし、一波目以降に到達する波に注目すると、軟層上の中央部で最大

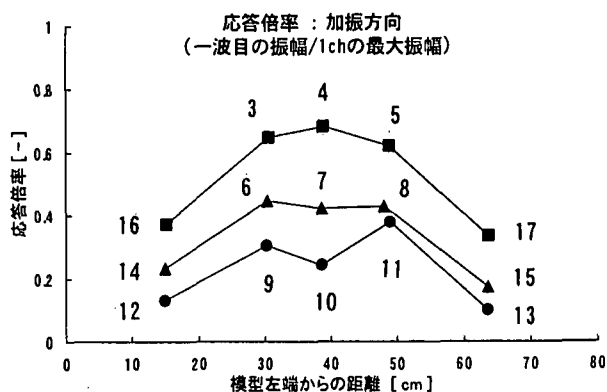


図-4(a) 応答倍率 (直達波)

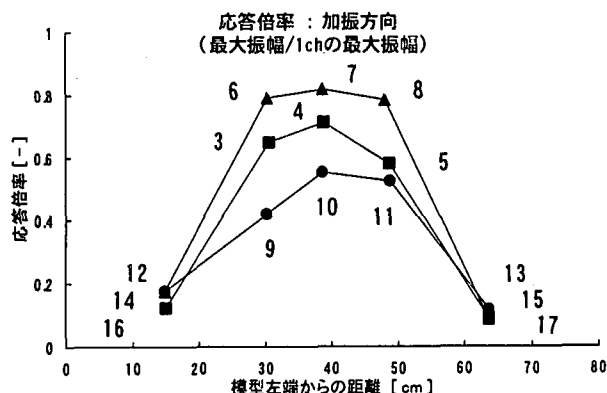


図-4(b) 応答倍率 (一波目以降の最大振幅)

を示していることがわかる。このことは、硬層と軟層との境界部から生じた波動が模型中央付近で重なり合った結果と考えられる。この波動は、実験中にも肉眼で観察されており、三次元的な影響によるものと考えられる。

4. むすび

三次元不整形地盤に生ずる波動現象を模型実験的に究明することを試行した。二次元的な模型と三次元的な模型の実験結果を比較することにより、地盤の三次元的な影響を確認することができた。以上のことより、本実験方法は、三次元的な波動現象の究明に使用可能であるといえる。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.