

地盤不整形部へのSH波の入射角度の相違が波動現象に及ぼす影響調査のための一模型実験法

川名太¹・森地重暉²

¹国土技術政策総合研究所 港湾研究部港湾施設研究室
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail: E-mail:kawana-fy92@nilim.ga.jp

²東京理科大学理工学部 理工学部土木工学科 教授
(〒278-8510 千葉県野田市山崎2 6 4 1)

E-mail: morichi@rs.noda.tus.ac.jp

地盤不整形部へパルス状の平面SH波が斜め入射する場合、波面の入射角度の相違が波動現象に与える差異についての模型実験的な調査を試行した。地盤模型は堆積盆地端部のような傾斜層を有する表層地盤とした。傾斜層の傾斜部に地盤深部よりSH平面波を 0° 、 45° 、 75° 、 90° の角度で入射させ、表層地盤に生じる変位を測定した。実験結果を比較することで以下の結論を得て、本手法の妥当性を示した。不整形部に平面SH波を入射すると不整形部に起因した波動が生じる。実験結果を重ね合わせて複数回加振した場合の変位時刻歴を算定した結果、実体波とは異なる波群の存在を確認した。この波群の伝播性状を調べるとLove波の様相を呈することが確認された。また、入射角度が 45° の場合に比して、入射角度が 75° の場合の方が波群が明瞭にLove波の性状を呈し、入射される波面の角度が表面波の生成に影響するものと考えられる。

Key Words : model experiment, irregularity ground, SH wave

1 はじめに

地盤の不整形性により生じる波動現象についての究明は地震工学上において基礎的な課題である。SH波の表層内での反射や傾斜層内での伝播状況については、多くの文献が示されている^{1)~4)}。また、盆地端部のような地盤の不整形部に起因して堆積層内に表面波が生成されることは、すでに知られている。しかし、その地盤の不整形性や地震波の入射角が表面波の生成にどのように関与するのかは詳細に調べられていない。この種の現象究明には、強震観測、数値解析等が行われ、目覚ましい成果を挙げているが、本文では、実施例の少ない模型実験解析法に着目し、SH平面波の地盤不整形部への入射角度が波動現象に及ぼす影響について調査した。ここでは、以下のような問題を取り上げている。

地盤模型は、一層地盤と二層地盤とが連結されたものとし、その連結部が傾斜層となっている。この傾斜層を地盤の不整形部と考えた。一層地盤と二層地盤の下層は同様な力学的性質を持つ。地盤深部よりSH波状の平面波が傾斜層部へ斜め入射するとき、波面の入射角度が波動の生成に及ぼす影響について調査した。入射される平面SH波は、パルス状のものとした。平面SH波の入射に伴い、二層地盤の表層部に生ずる変位波形を求めた。

実験を実施するにあたり、入力波形や加振振動数の制御が困難な場合がある。しかし、パルス状の入力に対する応答が分かれば、複雑な入力波形の下での現象の把握が可能であり実験方法の応用性は高くなる。数理的には、Green関数を求めて行なう解析と類似している。本文では、パルス波の入力に対して得られた実験結果をもとに、重ね合わせの手法を用いて複数回加振した場合の応答を求め、表面波の生成を確認するとともに、この手法の妥当性を検討した。

2 実験方法

2.1 実験模型

端部に傾斜層をもつ表層地盤にパルス状の平面SH波が傾斜部に斜め入射したときの表層地盤上で生じる変位を測定した。SH波の入射角を 0° 、 45° 、 75° 、 90° と変更し、そのときの波動現象の差異を調査した。

地盤模型は縦横800mm、高さ300mm程度の直方体であり、鋼材上に設置されている。模型中央より左側が一層、右側が二層地盤となっており、勾配 30° の傾斜層で連結されている。二層地盤の表層と

表 - 1 表層及び基層の横波速度と層厚

入射角度		0° (鉛直入射)	45°	75°	90°
表層	横波速度 (m/s)	1.24	1.04	1.20	1.20
	層厚 (cm)	3.50	4.30	3.90	3.40
基層	横波速度 (m/s)	2.79	2.54	2.73	2.73
	層厚 (cm)	26.8	26.2	26.6	26.6

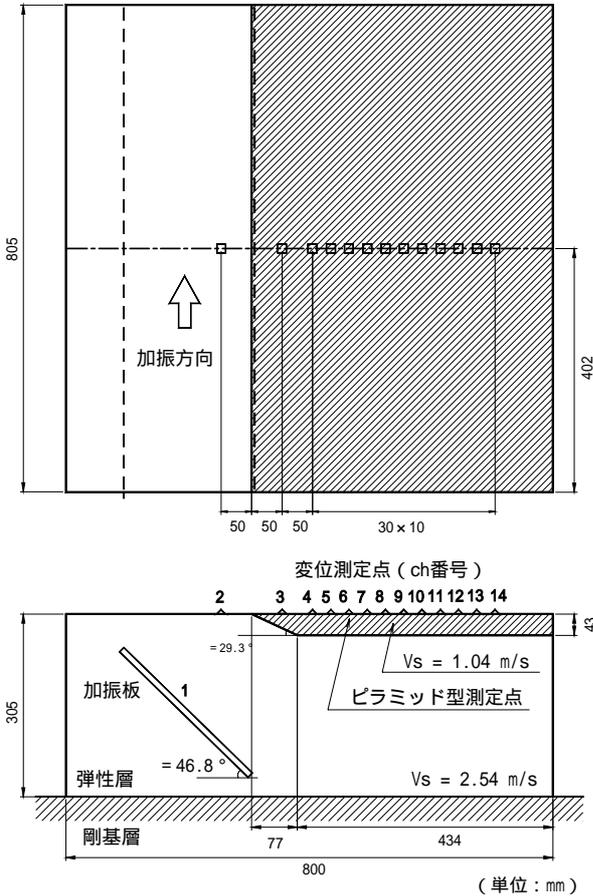


図 - 1 地盤模型 (傾斜角度 45°)

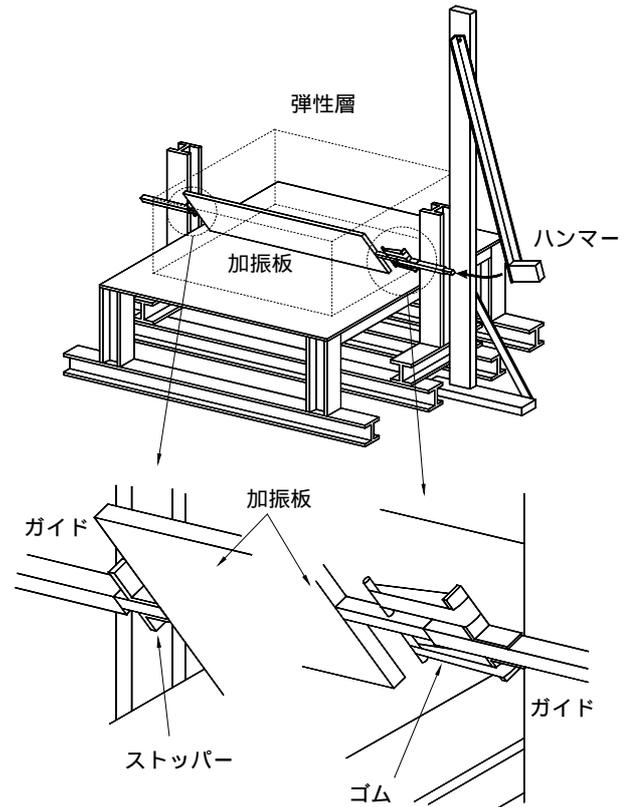


図 - 2 発振装置

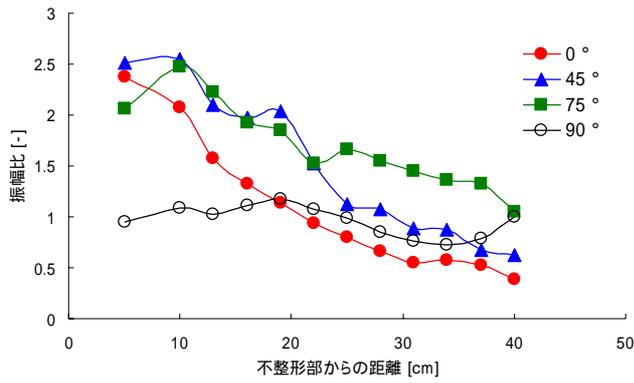
基層の横波速度の比は、波動現象に影響を与えるものであるが、本実験では各実験とも 1:2.5 程度となるようにしている。地盤模型材料としてアクリルアミドゲル⁵⁾を用いた。アクリルアミドゲルは、2液混合型の高分子材料であり、材料の配合によって横波速度を 1.0~3.0m/s 程度に調節することができる。材料の低弾性のため波動現象の速度が低くなるので実験実施の上で有利である。

傾斜層の傾斜角度を一定とし、平面 SH 波の入射角度が 0, 45, 75 及び 90° の各場合の実験を行った。図 - 1 に SH 波の入射角度が 45° の場合の実験模型が示されている。また、表 - 1 には、各実験模型の表層及び基層の横波速度と層厚がまとめられている。

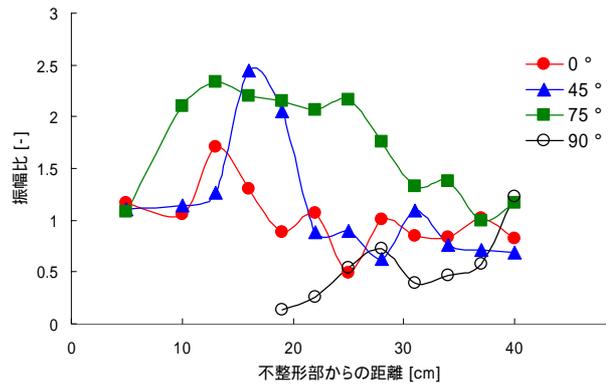
2. 2 波動の発生方法及び変位の測定方法

パルス状の平面 SH 波の発生は次のように行った。波動を発生させるための加振板は、アルミニウム製の平板を用いた。加振板は、各実験ごとに角度を変更して弾性層の中位レベルに埋め込まれている。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、加振板に打撃を加えた。ハンマーの衝突後、加振板が一定方向のみの変位をとるようにガイドを取り付け、微小時間で初期位置に静止するようにバネの復元力やストッパーを用いている。波動の発振装置の概要が図 - 2 に示されている。

波動伝播により生じる模型表面の変位の測定は次のように行った。変位測定位置に小さなピラミッド型の測点を固定し、各測点に対してレーザー式変位

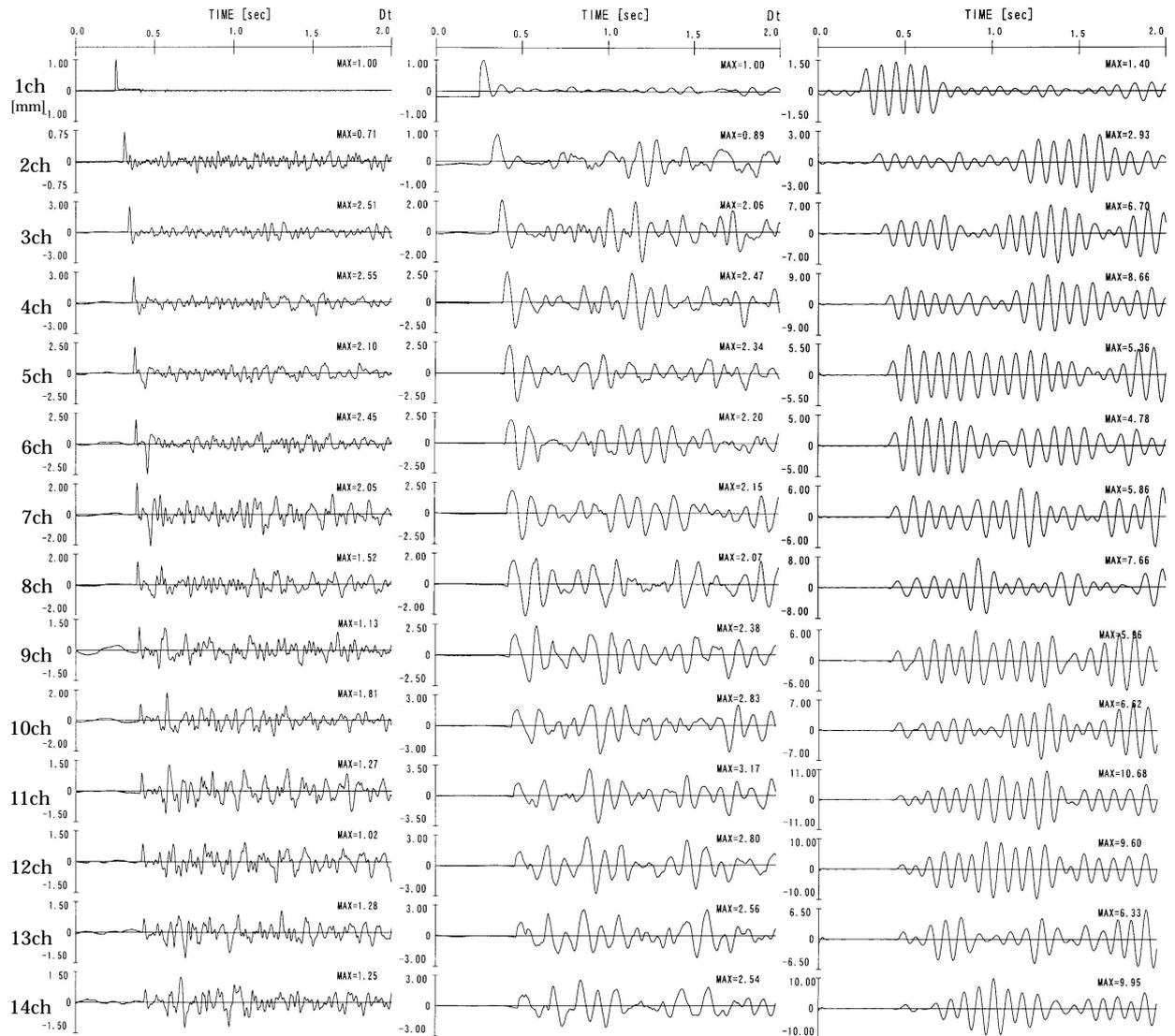


(a) 一波目の位相の応答比



(b) 逆位相の波の応答比

図 - 4 応答比



(a) 入射角度 45°

(b) 入射角度 75°

重ねあわせ結果 (入射角度 75°)

図 - 3 変位時刻歴 (実験結果)

図 - 5 変位時刻歴

計を用いて 2 方向の変位を測定した。図 - 1 に示されているように変位測定位置は各実験とも同様とし、硬層地盤上に測点 2 チャンネル (以下、ch と記述

する)、表層地盤上に測定点 3~14ch を設置した。実験の実施面で、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であったので、数回の加

振で変位を測定している。その際、硬層地盤上の 2ch との変位の関係を得るために、必ず 2ch と他の ch の測定を行い、2ch の変位波形が常に同様な様相を呈していることを確認しながら実験を行った。なお、サンプリング周波数は 1000Hz とし、4 秒間の記録を得ている。

3 実験結果と考察

実験結果を用いて加振方向と上下方向の 2 方向の変位を算定した。各実験とも、SH 波状の加振のため加振方向の変位が著しく大きかったので、加振方向を対象に解析した。得られた変位時刻歴の例として、入射角度が 45° 、 75° のものがそれぞれ図 - 3 (a)、(b) に示されている。1ch には、加振板の変位状況が示されている。

図 - 3 (a)、(b) の変位時刻歴について共通して次のことがいえる。加振に伴ないパルス状の変位が各測定点に順に生じている。一波目の波は波線理論的な考察より実体波として説明することができる。また、直後に比較的大きな変位の波が生じていることがわかる。この逆位相の波は別途に行った傾斜層をもたない二層地盤の実験では確認できなかったことから、この波は傾斜層に起因して生じたものであるといえる。

図 - 4 (a)、(b) には、基層上の変位に対する一波目および逆相の波の変位の応答比が示されている。一波目についての応答比は入射角度が 0° 、 45° 、 75° の場合には測点が境界から離れるほど小さな値になった。しかし、入射角 90° の場合については応答比がほぼ一定であった。図 - 4 (b) の逆位相の波の場合では、応答比が大きな値となる箇所は入射角 0° 、 45° の場合には局所的であるのに対し、入射角 75° の場合では広範囲であった。これは、模型表面への入射角の違いによるものと考えられる。このように、入射角度の違いが波動現象に与える差異を確認することができた。

この不整形部に起因する波動の伝播性状について詳細に調査した。弾性波動論では、表面波は表層内を反射を繰り返して伝播する実体波の重ねあわせで説明できることが示されている。このことより、実験の際に数回の正弦加振を行なうことができれば、明瞭な波群を得ることができるものと考えられる。しかし、本実験模型では、加振板を正弦加振するためには、相当大掛かりな設備を必要とする。そこで、パルス波による実験結果を時間差をつけて重ね合わせ、複数回加振した場合の変位時刻歴を算定することにした。図 - 5 には、算定された時刻歴の一例として入射角度が 75° で、5 波で加振した場合のものが示されている。図中、明らかに実体波とは異なる

速度で伝播する波群が生成されている。この波群の位相速度を算出すると、Love 波の伝播性状を呈することが確認された。また、入射角度が 45° の場合に比して、入射角度が 75° の場合の方がより明瞭に Love 波の性状を呈していた。このことは、入射角度が 75° の場合の方が表層地盤内に波が蓄積しやすかったためと考えられ、傾斜部より取り込まれた波の模型表面への入射角に起因しているものといえる。

4 結論

SH 平面波の地盤不整形部への入射角度が波動現象に及ぼす影響について模型実験的に調査した。SH 波の入射角度を変更して行った実験結果を比較することで、以下の結論が得られた。

不整形部に平面 SH 波を入射すると地盤に生じる変位は波線理論より説明できる。また、入射角度が 45° の場合に比して、入射角度が 75° の場合の方が広範囲で大きな応答が得られた。これにより、入射角度による差異を確認した。また、波群の伝播性状を明瞭にするために、パルス波による実験結果の重ねあわせを行った。これにより実体波とは異なる波群の生成を確認した。本実験の場合には、入射角度が 45° の場合に比して、 75° の場合の方が、より明瞭に Love 波の性状を呈し、平面波の入射角度によって相違がみられることが確認された。以上より、入射される波面の角度が表面波の生成に影響するものと考えられる。

参考文献

- 1) 木下繁夫：傾斜層内における SH 波の全反射伝播、地震、第二輯、Vol.38, pp.597~608, 1985.
- 2) 中村晋, 末富岩雄, 秋山伸一, 吉田望：傾斜基盤の存在により生じる Love 波の特性, 土木学会論文集, 第 398 号/I-10, pp.339~348. 1988.
- 3) 本山満雄：有限長正弦波による傾斜層を伝わる表面波の模型実験, 地震, 第二輯, Vol.22, pp.94~103, 1969.
- 4) 年縄巧, 増井大輔, 山口亮：甲府盆地における過去の地震被害分布に与える入射角の影響, 第 4 回都市直下地震災害総合シンポジウム, pp.135~139, 1999.
- 5) 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.

(2003. 9. 12 受付)