

発振源移動による地盤内の波動伝播状況に関する実験的研究

An Experimental Study on Propagation of Elastic Wave due to a Wave Source Moving on the Surface

森 地 重 暉・田 村 重 四 郎
Shigeaki MORICHI* and Choshiro TAMURA*

1. は し が き

表面を発振源が移動する場合の地盤内の波動伝播状況に関する研究は古くから弾性論により取扱われてきた。この場合、発振源の移動速度が地盤の波動伝播速度に一致すると図1の等位相面図より明らかなごとく発振源直下に大きな変形が生ずるのであることが指摘されている。この課題は最近実際上の問題として取り上げられてきた。例えば列車が高速度になり軟い地盤の波動伝播速度に近い場合がこれに相当する。すなわち列車速度が500 km/hr とするとこれは毎秒 138 m となり軟い地盤の横波伝播速度と略同程度の値になるためである。

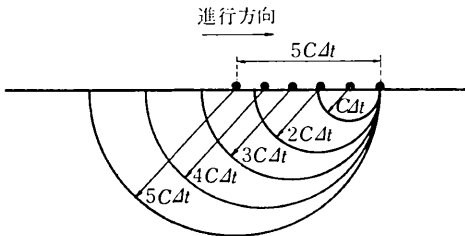


図 1

この種の問題を数理的に解明できるのは境界条件の簡単な場合に限られる。筆者等はこの問題を実験の条件に合わせて解決するために模型実験を利用すべく、その方法を検討してきたのでその一部を紹介する。

2. 実験方法について

2.1 実験材料

この種の問題を模型実験的に扱うに当たり、まず問題になるのは実験材料の選定である。できるだけ現象を扱いやすくするには現象を遅くすればよい。本研究においては実験材料としてゼラチンゲルを用うことにした。ゼラチンゲルは横波伝播速度が2~3 m/sec であり、かつ広い範囲で線形性があるのでこの種の問題には有用である。

2.2 供試体内に波動を発生する方法

ここでは現象を取り扱いやすくするために二次元模型について実験を行った。

発振源を模型表面上に高速度で移動させることは実験的に困難である。そこで予定走行線上で断続的に波動を発生させてこれに変えることにした。図2の如く波動の発生点を4点としそれぞれの間隔を5 cm とした。ゼラチンゲルの横波伝播速度を3 m/sec とするとこの場合、各点は各々 1/60 sec の時間差をおいて波動を発生させることになる。

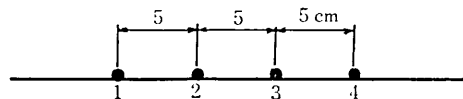


図 2

次に波動発生方法について述べる。波動の伝播状況を明瞭にとらえるためには単一でしかも立ち上りの早い矩形形状の波形が望ましい。そこで横波の矩形形状のSH波のみを発生させるように計画した。

この目的のために図3に示された装置を試作した。図3に示されているアルミニウムの角棒(3×1 cm 断面)は地盤模型上に置いた発振源であり、供試体内にSH波のみ発生させる目的で角棒が水平加振方向にのみ動きう

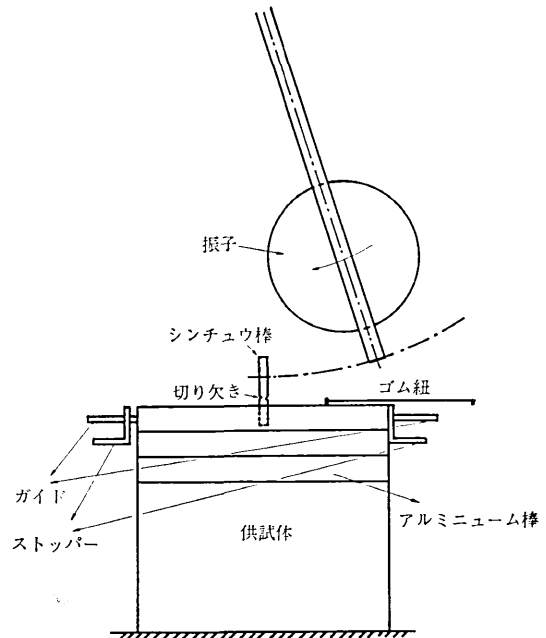


図 3

* 東京大学生産技術研究所 第1部

研 究 速 報

るようにガイドが取り付けられている。また、移動距離は3mmである。前述のごとく矩形波形が望ましいのでできるだけこの形に近づけることにした。そのためには次の条件が必要である。

- 1) 発振源が大きな初速度で動き始めること。
- 2) 次に急いで速度が零になること。
- 3) そののち高速度で元の位置に戻ること。

1)の条件を満たすために発振源に比べて相当に重い振子を発振源に撃突させる必要がある。これには発振源が軽量であることが望ましい。これらの条件から発振源となるアルミニウム棒に4mmφのシンチュウ棒をたてこれに振子を撃突させることにした。

2)の条件を満たすためアルミニウム棒が固定したものに衝突して停止するように運動方向前方にストッパーをおいた。この場合、アルミニウム棒がストッパーに衝突する時、振子の慣性力も作用することになり装置に大きな衝撃を発生し実験上適当でなく、これを柔げる必要がある。そこでシンチュウ棒には図の如く切り欠きを入れてアルミニウム棒がストッパーに衝突するときに切り欠き部分からシンチュウ棒が折れるようにしてある。また、これによって一回だけの衝突実験が可能であり、元の位置への復元も容易である。

3)に対する方策としては強いゴム紐を図のようにとりつけ元の位置にアルミニウム棒が戻るような力を加えておいた。

このようにして矩形の単一波を発生させることができる。この種の機構を4組つくり時間差を与えて順次作動させた。写真1は装置の概要を示すものである。

時間差を生じさせる方法として図4に示す方法を採用した。振子を吊った糸(穴糸)は図4に示すようにせまい間隔(ここでは1cm程度)にまとめて締結し、これを図中のAA'線上を走る振子(重量約3kg)を利用して順次カミソリ刃で糸を切断していった。糸の切断速度の調節は振子の高低差を利用して行った。糸の切断時間間隔を一定にするために切断時間を微調節する必要がある。このため糸を止めている円柱の支点にリングを冠



写真 1

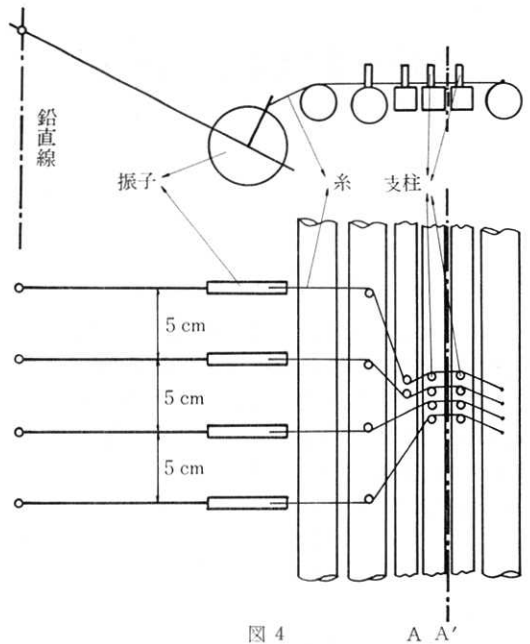


図 4

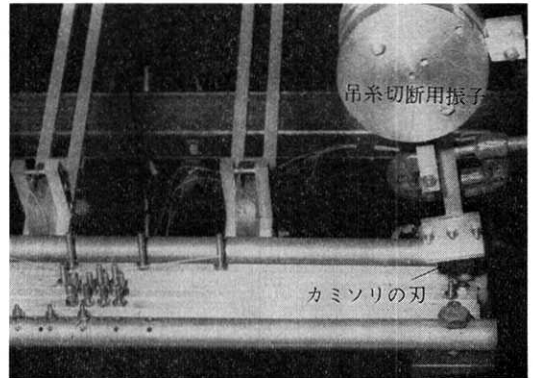


写真 2

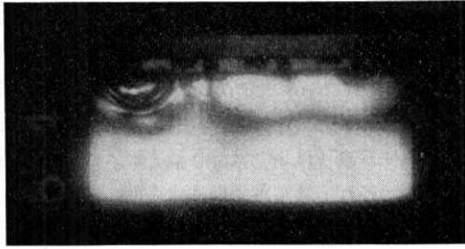
すことにより変化させることにした。写真2は2ヶの振子を使用した場合の振子の締結状況を示す。

2.3 現象の記録方法

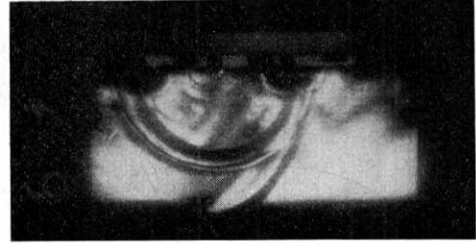
a) 光弾性実験による方法

写真3は地盤模型の波速と同じ速度で順次4点から発生した波動の光弾性等色線写真である。地盤模型には10×10×50cmの角礫形のゼラチンゲルを用い、底面はアルミニウム板である。現象の撮影には高速撮影機HITACHI 16 HDを用い、3,900コマ/secで撮影した。フィルムはKODAK 4Xで、絞りは最大1:1.8に開いた。このようにして撮影したフィルムでは通常の現像作業により充分明瞭な画面を得ることができる。

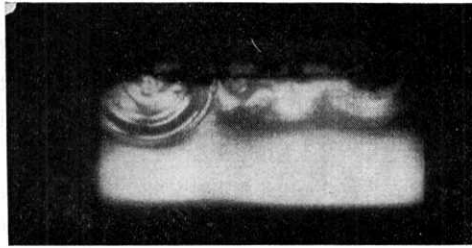
写真3をみると円筒状波面が確実に観察し得て図5の等位面図に示すごとく波面の状況が明瞭に分る。しか



(1)



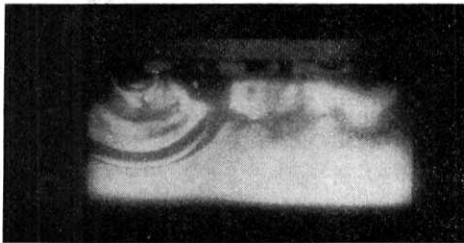
(6)



(2)



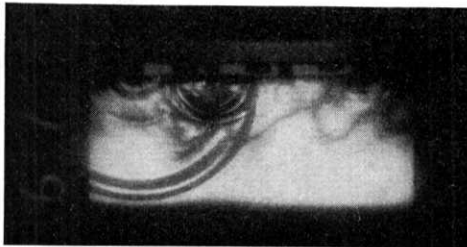
(7)



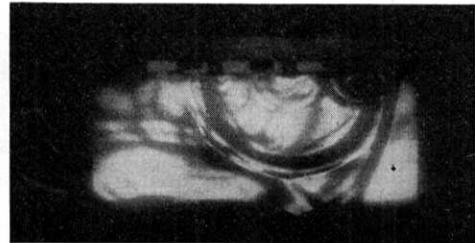
(3)



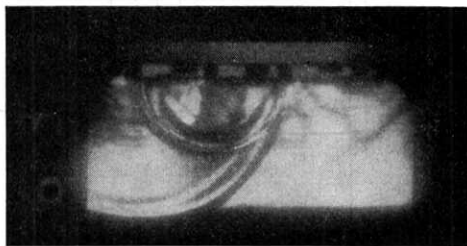
(8)



(4)



(9)



(5)



(10)

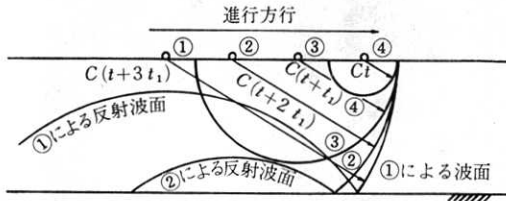
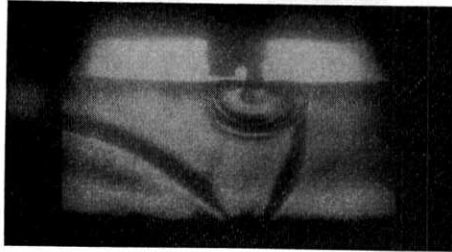
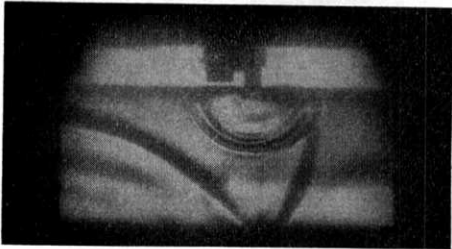


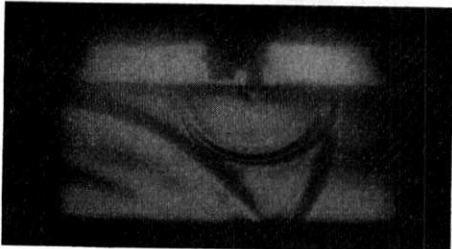
図 5



(1)



(2)



(3)



(4)

写真 4

し、波面として見える円筒状の縞は光弾性等色線のみではない。つまり、材料が軟いために波動により供試体表面に凹凸が生じ、その凹凸が光学的に黒い縞として表われるからで、そのため光弾性等色線の検出は困難である。

次に示す写真 4 は光学系より偏光板、四分の一の波長板を除外して得た実験写真で供試体表面に円筒状に伝播することが分る。また、発振源直下の応力が波面の重複により順次増加してゆくとみられるが本実験ではこれを検出することはできなかった。

b) 電気的変位測定による方法

応力の増加に関する問題を明らかにするために電気的な変位測定を利用することにした。用いた変位計はギャップセンサー（電子応用 K.K.）と称し、渦電流損を利用して測定を行なうものである。その原理はピックアップ先端の高周波コイルに測定対象物の表面（金属板貼布）が接近すれば高周波コイルのインダクタンスが渦電流損により減少するので、このインダクタンスの変化を利用して接触せずに変位を測定するものである。この計器の特性はほぼ線形性を有し、本実験に使用したものの測定範囲は 4 mm 程度である。

この変位計を用いる場合、変位測定箇所ピックアップの表面（直径 2 cm）を被う以上の金属板を貼布する必要がある。そのようにすると測定値はピックアップの面積での平均値を示すことになる。そこで一点の変位を測定すべく次の工夫をした。図 6 に示すごとく測定点に直径 1 mm のシンチュウ棒を埋め込み、その棒は供試体の厚さよりも長いものにし、両端に 3 cm 角のブリキ板（厚さ 0.35 mm）を貼布した。このようにすれば一方のブリキ板の変位からシンチュウ棒を埋めてある点の変位が測定しうる。両端にブリキ板を取り付けたのは棒の平衡をとることを考慮したからである。

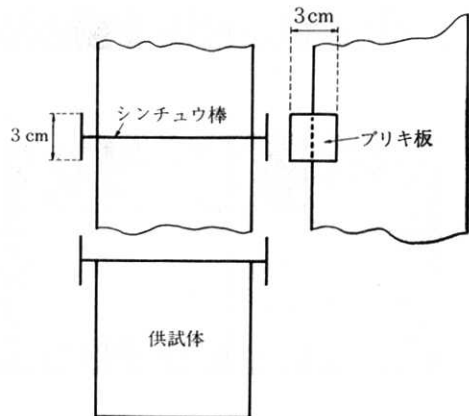


図 6

3. 実験結果とその検討

前述の電氣的測定により変位に関する検討を行った。使用した供試体は $50 \times 10 \times 10$ cm の角筒形のゼラチンゲルであり、せん断振動試験より求めたこの材料の横波伝播速度は 2.98 m/sec である。発振点は 15 cm 離れた 2 点である。

測点も 2 点とし、発振源と測定点との関係は図 7 の如くである。変位の時間的变化はオシログラフに記録させた。実験時の様子は写真 1 に示すようである。

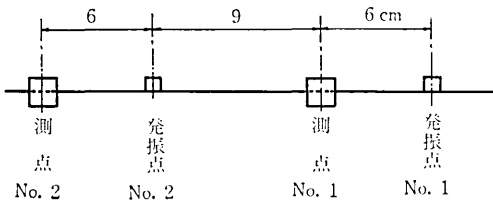


図 7

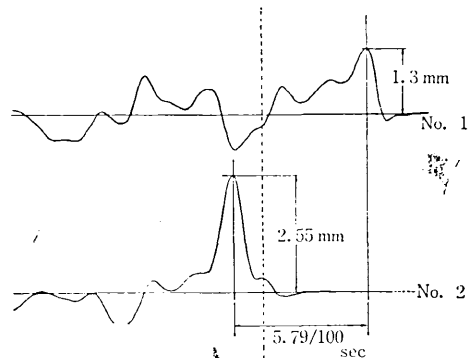
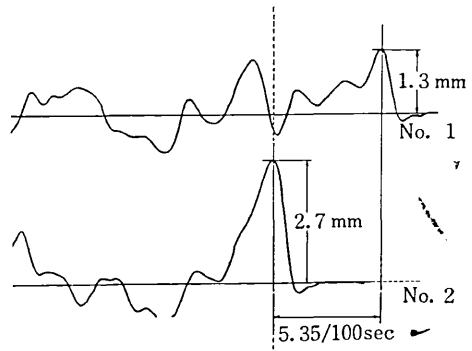
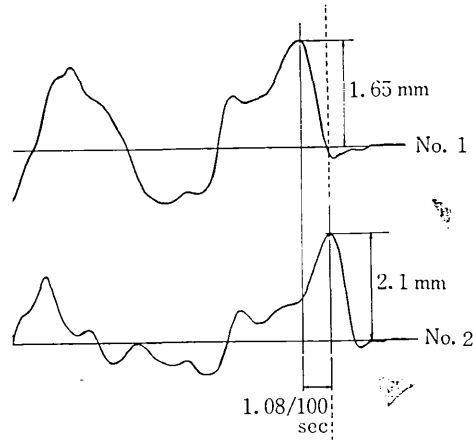
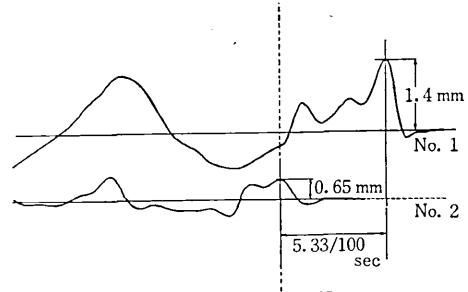
実験は 3 種類行った。実験 No. 1, No. 2 においては先ず一点の発振による測点での変位を測定し、実験 No. 3 では二点の発振によって生ずる各測点の変位を測り 2 点からの波動が重なったときの両者の関係を調査した。実験結果は図 8, 図 9 および図 10-1 に示す。図で分るように衝撃により複雑な波形の変位が生じているが、比較のため衝撃波の先端部にある最大変位を表に示した。

例えば実験 No. 1 での測点 No. 1 の記録をみると衝撃波が測点に到達した直後変位は急激に増加して最大値を示し、ついで振動しながら減少して約 5/100 sec 経過後自由振動とみられるゆるやかな変位波形を示した。

また、測点 No. 1, No. 2 の記録を比較すると明らかに振幅の減少が認められるので、この 2 点の最大変位間の比について考察する。弾性体内を伝播する円筒波の振幅は発振点からの距離の平方根に反比例するものとし、発振源に近い測点の値を基準にして他の点の振幅を求めると表中の () 内に示した値になる。それらの値は実測値と大差のないことを考えると、測定値は可成りの精度を有するものとみられる。

また、2 測点において最大値を示す時間の差と 2 測点間の距離から算定される伝播速度は表に示す通り、せん断振動試験より得た値に近い。

実験 No. 3 の結果をみると表に示されているように測点 No. 1 の最大変位は 2.7 mm であって、略、実験 No. 1, No. 2 の最大変位 0.65, 2.1 mm の和になっている。また、実験 No. 3 の測点 No. 1, No. 2 における波形は、実験 No. 1, No. 2 のそれぞれの波形を重ね合わせたものとよく一致している。このことより 2



上から図 8, 9, 10-1, 10-2

表 1

実験	発振点	発振の時間差	発振点からの測点の距離		変位最大値		測点 No. 1, No. 2 の最大変位を示す時間差 (t)	波速 $(\frac{ D_1 - D_2 }{t})$
			測点 No. 1 (D ₁)	測点 No. 2 (D ₂)	測点 No. 1	測点 No. 2		
No. 1	No. 1 のみ	—	6 cm	21 cm	1.4 mm	0.65 mm (0.75)	5.33/100 sec	2.8 m/sec
No. 2	No. 2 のみ	—	9	6	1.65 (1.7)	2.1	1.08/100	2.78
No. 3	No. 1, No. 2	5.2/100 sec	—	—	1.3	2.7	5.35/100	—

つの波動の重ね合わせを行うことができることが実験的に確認された。さらに、これを追認するため二発振点での時間差を変えて同様に実験したものが図 10-2 に示されている。

4. 結 び

以上述べたように地盤が弾性体である場合、発振源が表面を移動しその移動速度が地盤内の波動伝播速度に一致すると、発振源直下に異常に大きな変位が生ずること

が実験的に証明された。しかしながら、実際問題においては地盤自体の複雑な力学的特性によって伝播経路で波動の振幅が減少するのでこの点の定量的な説明が今後のこの種の研究の課題である。

また、この実験方法によれば単純な境界条件の場合のみならず、解析的に取り扱い困難な場合にも地盤内の波動伝播の状況を調査することが可能である。

(1974年4月22日 受理)

次 号 予 告 (8月号)

研究解説

- 東京大学生産技術研究所における計算機運用システムの開発について..... 古 柴 谷 千 恵
柴 田 俊 治 碧
- 地球資源衛星デジタルデータの多次元画像解析..... 村 井 俊 治

研究速報

- CONCENTRATION DECAY IN A BATCH ADSORPTION TANK 鈴 木 基 之 朗
河 添 邦 太
- FREUNDLICH ISOTHERM WITH PORE DIFFUSION KINETICS—
- 抵抗焼結法による繊維強化金属の製造の試み (第1報) 原 善 四 郎
明 智 清 正 明 雄
板 橋 藤 井 壽 公 芳 之
- レーザー光による実時間表面あらさ測定装置の試作..... 佐 三 藤 井 壽 公 芳 之
- 円筒液体貯槽の液面動揺の応答 (第3報) 曾 我 部 潔 碧
柴 田 俊 治
- 高分子複合材料熱伝導に関する研究..... 荻 野 圭 三 浩
高 津 川 精 一
- 金属における粒界拡散のもう一つの解..... 梅 西 津 川 精 一
- LiF の低温における変形の活性化体積..... 金 中 鈴 村 木 鉦 和 敬
鈴 木 村 木 鉦 和 敬

研究室紹介

- 原島研究室..... 原 島 文 雄