

### (33) 左右で力学的性質の異なる弾性層内を伝播する波動についての模型実験結果

東京理大 正員 森地 重暉  
東京理大 学生員〇 大西 康之

#### 1. はじめに

著者の一人は剛基層上の地盤内を伝播する弾性波に対する模型実験方法の開発を試みてきた(1)。それらの実験の多くでは、水平面で波動の進行方向と直交した方向に模型を加振してSH波状の波動を発生させた。主として実験対象とした波動はLove波であった。応用例として、鉛直境界を境目にして、左右で力学的性質の異なる弾性層でのLove波状の波動の挙動について調査したこともあるが、本文では、新たに実験を行ない、結果について若干の力学的考察を加えた。

#### 2. 実験方法

境界左右で異なる力学的性質をもつ弾性層が剛基層上にある場合、境界における波動の透過および反射の状況を調査する目的で実験を行なった。模型材料としては、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。この材料は横波速度が1-3m/s程度であり、ゴム、アルミニウム、プラスチック等の他の模型材料に比べると相当に低いので、波動の発生や波動現象の把握が容易である。

弾性層模型は、層厚3cm、奥行き12cm、長さ600cmの直方体とした。図-1に示す通り、鉛直境界左右で横波速度の異なる弾性層とし、横波速度はA,B部で各々1.69m/s, 2.35m/sとした。また、ポアソン比は、0.5であった。波動の発生には、電磁式加振器を用いた。加振器の加振棒先端にアルミニウム角棒(1cmX1cm)をつけ、角棒は水平運動だけするように工夫した。角棒を弾性層に圧接して、模型の奥行き方向に正弦的に加振することで弾性層内にSH波状の波動を発生させた。発生する正弦波形は連続9個とした。振動数は7.0-30Hzとした。波動の伝播により生ずる弾性層の変位の測定は次の通りとした。図-1の(1)-(16)において弾性層の自由表面近傍にストローを挿入固着して、それらの先端にアルミニウム箔を付け、箔の変位を非接触変位計(ギャップセンサー：電子応用(株))により測定した。変位波形はオシログラフにより記録した。

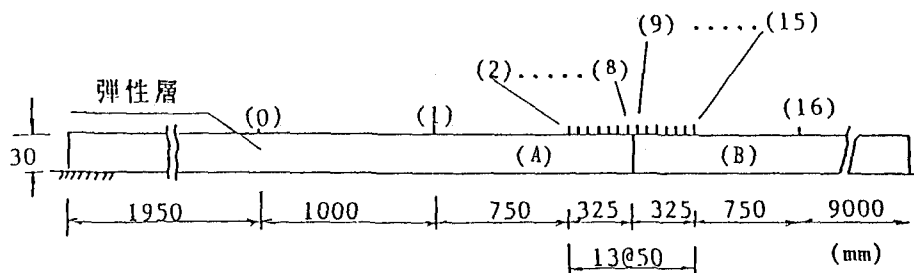


図-1 実験模型

#### 3. 実験結果とその検討

図-2には、実験結果の一例が示されている。各記録波形を見ると、波群の進行していく状況が分かる。図-2-(a)(15.0Hz)では、A部で発生した波動がB部との境界で反射し、B部には波動が進行して行かない様子が示されている。図-2-(b)(26.0Hz)では、上図とは異なり、A部よりB部に波動が透過していく様子が分かる。

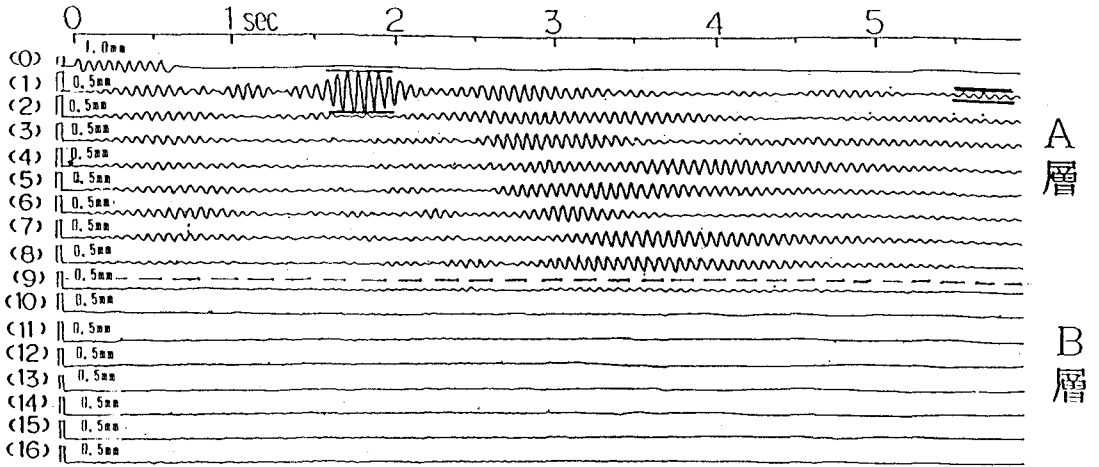


図-2-(a) 実験結果 (15.0Hz)

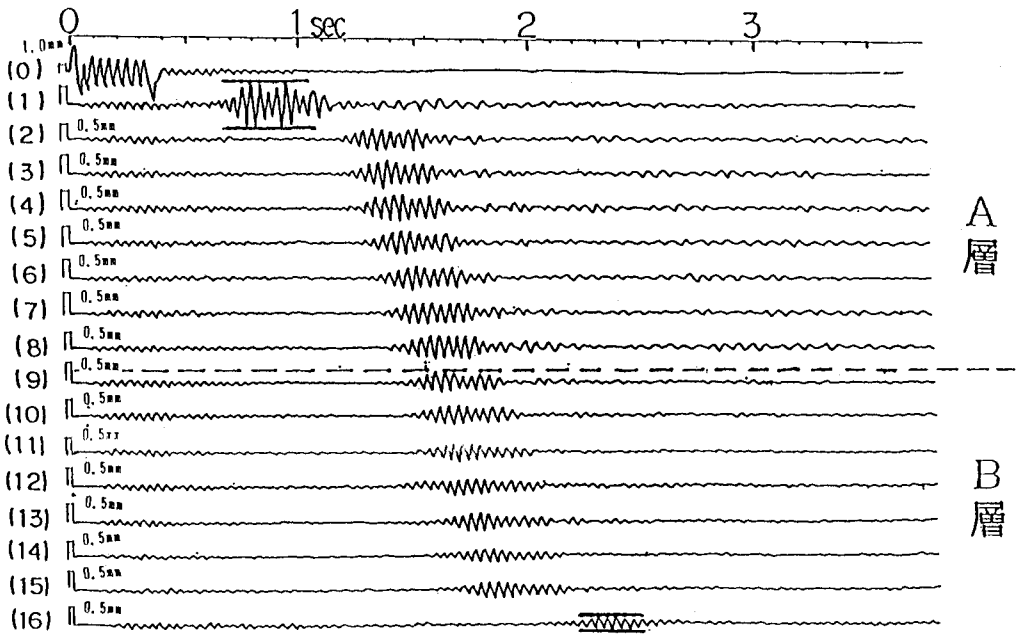


図-2-(b) 実験結果 (26Hz)

これらの波動は前報(1)に示すと同様な手法で波群の群速度を測定し、また、波長と振動数との積より位相速度を求めてみると剛基層上を伝播する基本モードのLove波のものであることが分かる。

両図とも波群が各測点に到着する前に既に変位が発生しており、また、各点での位相の状況をみると模型に振動が生じているものと考えられる。この状況は弾性層のせん断1次振動数以下で模型を加振した場合に顕著になる。このような振動の生成についてまず考察する。

次のように記号を定める。

$i$ :虚数、 $x, y, z$ :座標系、 $\rho$ :密度、 $u$ :水平方向( $x$ 方向)の変位、 $H$ :層厚、 $\omega$ :円振動数、 $k$ :波数、 $G$ :せん断弾性率、 $C$ :位相速度、 $C_g$ :群速度、 $V_s$ :横波速度、 $f$ :振動数、 $f'$ :弾性層のせん断1次振動数。

波動の変位 $u$ 並びに位相速度 $C$ は次式にて示される。議論には不要であるので、 $z$ 方向に関係した項を無視している。

$$u = A \exp i(\omega(\frac{x}{C} - t)), \quad C = 4Hf' \frac{1}{\sqrt{1 - (2m+1)^2 (\frac{f'}{f})^2}} \quad (1)$$

本実験では、 $A$ 部のせん断1次振動数は14.1Hzである。従って、 $m=1$ (即ち1次モード)では、 $C$ の根号の中が負になり、 $C$ は虚数になるため、 $u$ は次のように変更される。

$$u = A \exp(-\frac{\omega x}{C'}) \exp(-i\omega t), \quad C' = 4Hf' \frac{1}{\sqrt{(\frac{3f'}{f})^2 - 1}} \quad (2)$$

この状態は定常振動を示しており、波群が到達する以前の振動状態を説明している。

次に反射および透過の状況を調べるために、反射後の波群の振幅および透過後の波群の振幅と入射波と見なされる波群との比率をとる。距離に対する振幅の減少率が問題になるので、境界より同一の距離での振幅比を対象にした。

入射波 $u$ 、透過波 $u_T$ 、また、反射波 $u_R$ とおく。基本モードのLove波であると考え、各波の $y$ 方向(奥行き方向)の変位はつぎのようになる。サフィックス( $o$ )は $A$ 部に対応するものとする。

$$u = \sin \frac{\pi z}{4H} \cdot \exp[i(\omega t - k_o x)] \quad (3)$$

$$u_R = A \cdot \sin \frac{\pi z}{4H} \cdot \exp[i(\omega t + k_o x)] \quad (4)$$

$$u_T = B \cdot \sin \frac{\pi z}{4H} \cdot \exp[i(\omega t - kx)] \quad (5)$$

$x=0$ において、次式が成り立つ。

$$u + u_R = u_T \quad (6)$$

$$G_o \frac{\partial}{\partial x} \cdot (u + u_R) = G \frac{\partial u_T}{\partial x} \quad (7)$$

これらより

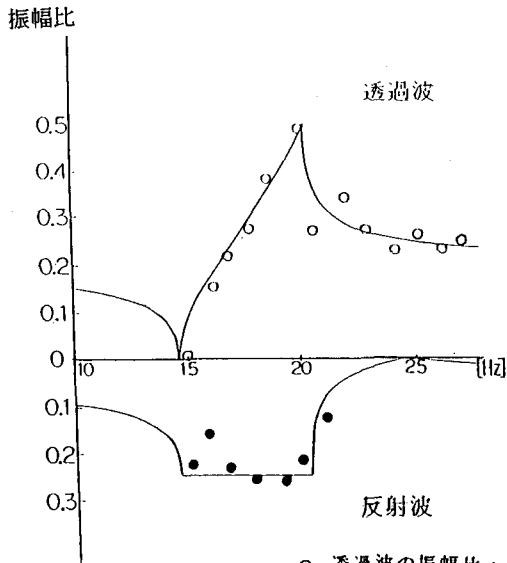
$$1 + A = B, \quad 1 - A = \frac{k G}{k_o G_o} \cdot B \quad (8)$$

$C_g \cdot C = V_s^2$  であるので、これを利用すると  $\frac{k G}{k_0 G_0} = \frac{\rho C_g}{\rho_0 C_{g_0}} (= \gamma)$  が成り立つので、最終的に、次式が成り立つ。

$$A = \frac{1 - \gamma}{1 + \gamma}, \quad B = \frac{2}{1 + \gamma} \quad (9)$$

また、 $C_g$ は振動数で表すと  $C_g = 4Hf' \cdot [1 - (f'/f)^2]^{1/2}$  となる。

前出の(1),(2)式に関する議論と同様に  $f$ が $f'$ より小さい場合においては、 $C_g$ は実数でなくなる。このことから、左右のせん断1次振動数との関係を考慮すると加振振動数の変化に応じて $u_T, u_R, \gamma$ は、表-1に示すように変動する。



○ 透過波の振幅比 : B  
● 反射波の振幅比 : A  
図-3 透過と反射

A部のせん断1次振動数14.1Hz  
↓

|           |    |    |    |      |
|-----------|----|----|----|------|
| 透過波 $u_T$ | 振動 | 振動 | 波動 | → Hz |
| $\gamma$  | 実数 | 虚数 | 実数 |      |
| 反射波 $u_R$ | 振動 | 波動 | 波動 |      |

↑  
B部のせん断1次振動数19.6Hz

表-1 振動数に対する変化

図-3に透過波および反射波の振幅比と本文に示した理論との対比を示す。上述の議論より、二つのせん断1次振動数の間の振動数帯域では境界付近での値を用いている。簡単な理論ではあるが、実験結果を説明すると考えられる。

#### 4. 結び

剛基層上を伝播するLove波が力学的性質の異なる弾性層の境界での反射および透過についての実験結果について考察を加えた。

#### <文献>

(1) 森地, 田村: 剛基層上を伝播する表面波に対する一模型実験方法, 第8回日本地震工学シンポジウム論文集, pp999-1004, 1990.