

(55) 弾性層内に生ずる重力波 についての模型実験的検討

東京理大 正員○森地 重暉
東京理大 正員 田村 浩一

1. はじめに

地震時に、極度に軟弱な地盤において重力波の発生する可能性については、古く、松沢の論文(1)に記されている。また、最近では、含水比が350-400%の粘性土は液状の挙動をすることがあるためMexico cityにおいて重力波が発生したであろうことが論じられている(2)。この種の波動の実地震に対する影響については、今後、検討さるべきと考えられる。本文では、模型実験的にその発生について調査した。

2. 実験方法および実験結果

実験対象としたのは、剛基層上の弾性層で一様な地盤高さ(8 cm)をもつ直径60 cmの円盤状の模型地盤である。地盤の円周境界は変位拘束であるとした。模型地盤を振動台上に搭載し、模型底部を上下方向に定変位正弦加振した。模型材料としては、剛基層にはアルミニウムを、また、弾性層にはアクリルアミドゲルを用いた。横波速度が異なる3種類の模型地盤について実験を行なった(表-1)。通常の振動実験に用いるアクリルアミドゲル(横波速度:2-3m/s程度)に比べて相当に軟弱なため形状が保ちにくいので、横波速度の測定には剛基層上にある周辺固定の直方体地盤模型(60×60×6 cm)を水平加振して得られるLove波を利用する等の工夫をした。

模型No.-1,2については、幾つかの加振振動数で共振振動モードを得ることが出来た。本文では、各模型について確認しえた最も低い振動数で得られたモードについてのみ検討した。本実験例では、通常の振動実験におけるよりも相当に大きい加振振幅を与えないと共振振動モードを得ることが出来なかった。また、加振振動数は発生する振動モードのものの2倍であり、加振振動数を振動モードのものにすると振動モードは得られなかった。なお、模型No.3については、同程度の加振振動数では共振振動モードを認めることは出来なかった。表-2には振動台振幅と各模型の共振振動数が示されている。写真-1には、模型No.-2に生じたある位相での共振振動モードが示されている。

模型No.	1	2	3
横波速度(m/s)	0.29	0.39	0.76

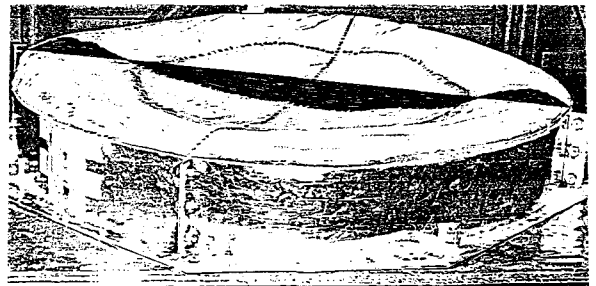
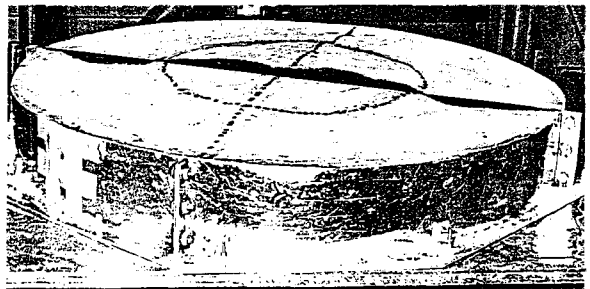
表 - 1

a	No.1	No.2	No.3
0.50	*	*	*
1.0	2.25	2.42	*
1.25	2.25	2.42	*
1.5	2.25	2.42	*
2.0	2.25	2.42	*
2.5	2.25	2.42	*
3.5	2.23	2.38	*
4.5	2.21	2.32	*
7.0	2.14	2.29	*

a(mm):振動台振幅

*: 共振振動モードの発生なし

表 - 2. 模型の振動数



加振振幅: 2.0mm

写真 - 1. 実験結果

モードを見やすくするために基準水平線からの振幅を黒く塗りつぶしている。模型No.-1 およびNo.2を大きな振幅で加振した場合、写真-1に示すものと類似した上下動が現われ時間とともに振幅が増大していった不安定な挙動を呈し最後に消滅した。そして、円形地盤の中心軸を節とするLove波状の水平動が発生した。加振振幅が1.0mm の場合には、安定な上下動のみが発生した。振幅が0.5mm の場合には、共振振動モードは発生しなかった。また、加振振幅が大きい程、共振振動状態に達する時間が短くなり、共振振動数が低下した。

3. 実験結果の検討

円形地盤に生ずる振動モードは半径方向についてはBessel関数にて示される。そのことを利用して写真-1に示される結果の波長を求めると34.1cmとなる。波長(λ)と振動数との積より位相速度(C)を求める。波長(λ)と地盤高さ(H)との比を横軸にとり位相速度(C)と横波速度(V_s)との比を縦軸にとると、表-2の資料は図-1中のNo.1,2に示す通りになる。図中には、Rayleigh波と重力波との分散曲線が併記されている。模型No.-2の資料はやや検討を要するが、模型No.-1のものは確実に重力の影響を受けていると考えられる。なお、模型No.-3は他の模型より弾性率が高いため、上下方向の変形が生じにくいので重力の影響を受け難かったものと考えられる。

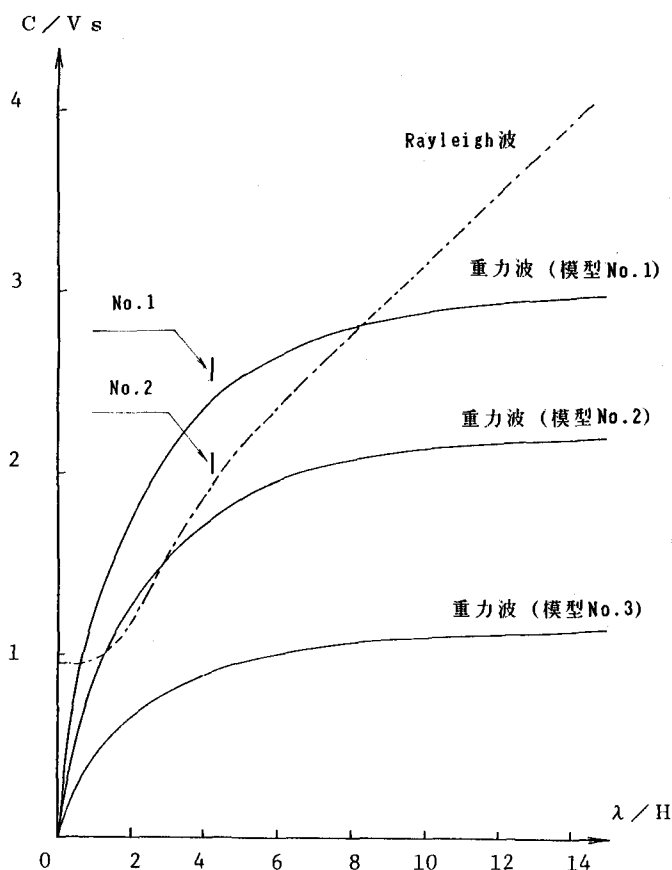


図-1 : 実験結果

検討を深めるために、重力の影響を受けた弾性波について理論的な考察を加える(3)。剛基層上に弾層があり、そのPoisson 比を0.5 とする。下記のように記号を定めると、重力の影響を加味した弾性層の鉛直面に生ずる波動の特性方程式は(1) 式に示す通りとなる。

位相速度：C、弾性層の層厚：H、横波速度：Vs、波長：λ、重力加速度：g。

$$\begin{aligned}
 &4 - \cosh(kH) \cdot \cos(kH(s^2-1)^{1/2}) \cdot [2-s^2 + \frac{4}{2-s^2} - \\
 &- \frac{1}{(s^2-1)^{1/2}} \cdot (4-s^2 - \frac{2s^2}{2-s^2}) \cdot \tanh(kH) \cdot \tan(kH(s^2-1)^{1/2}) + \\
 &+ \frac{gH}{Vs^2} \cdot \frac{s^2}{2-s^2} \cdot (\frac{\tan(kH(s^2-1)^{1/2}}{kH(s^2-1)^{1/2}} - \frac{\tanh(kH)}{kH})] = 0 \dots\dots\dots(1)
 \end{aligned}$$

式中 $k=\frac{2\pi}{\lambda}$ 、 $s=\frac{C}{Vs}$ である。

(1) 式において $gH/Vs^2=0$ とおくと重力の影響をうけていない剛基層上の弾性層内を伝播する Rayleigh波の特性方程式が得られる。

(1) 式において $kH(s^2-1)^{1/2} = m\pi(m=1,2,\dots)$ 、 $gH/Vs^2 \rightarrow \infty$

と考え、 $s=\frac{C}{Vs} \rightarrow \infty$ の場合について推定すると、次に示す式が得られる。

$$\frac{gH}{Vs^2} \cdot (\frac{C^2}{gH} - \frac{\tanh(kH)}{kH}) = 0 \dots\dots\dots(2)$$

(2) 式は重力波の波速を与える。

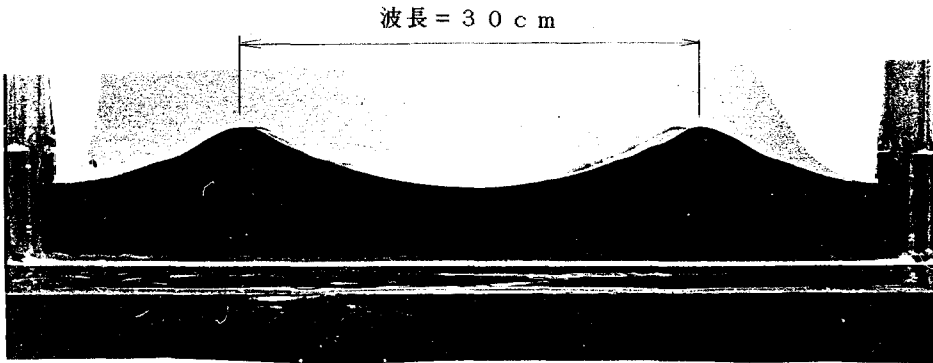
本実験例では、 gH/Vs^2 が9.3-1.3 程度であるため計算される位相速度の値は重力波のものと正確には一致しない。各実験例について得られた位相速度と横波速度との比率を求め計算値並びに重力波と横波速度との比率を比較する(表-3)。模型No-1とNo.-2 の実験より得られる位相速度は計算結果よりむしろ重力波のものに近い。

模型No.	$k=\frac{2\pi}{\lambda}$	$\frac{gH}{Vs^2}$	実験値	計算値	
			C/Vs	C/Vs	C _o /Vs
1.		9.32	2.64-2.52	2.93	2.34
2	1.47	5.16	2.11-2.00	2.58	1.78
3		1.36	*	2.14	0.91

C_o: 重力波速度 $C_o^2 = \frac{gH \cdot \tanh(kH)}{kH}$

表 - 3 波動速度比

著者は本実験方法と同じ加振方法で水を媒質とした実験を行ない検討を加えた。写真-2はその結果の一例である。横幅60cm、奥行き10cmの水槽のなかに水を入れ、水深8cmとした。水槽を振動台に搭載し上下加振した。振動台の振幅を0.5mm から7.0mm まで変更したが、一定の振動数2.10Hzで写真-2に示すようなモードが発生した。加振振動数は模型に発生したものの2倍であった。振動数と波長とから波速を求めると理論的な重力波とほぼ一致する。水槽での実験結果は本実験の結果と発生仕方が類似していることを考慮し、また、表-3の資料を加味すると、本実験結果は重力波に極めて近い性質をもつと推測される。



加振振幅：2.0mm

写真 - 2 : 水波の実験

4. 結び

極度に軟弱な弾性層内には重力波の発生し得る可能性が高いことを実験的に例示した。

<文献>

1. 松沢 武雄 : On the Possibility of Gravitational Waves in Soil and Allied Problems : 天文地球物理輯報、Vol.3, 1925, PP161-174
2. C.Lomnitz : Gravity Waves in Sediment, 第24回工学地震学・地震工学談話会資料、東京工業大学工学地震学・地震工学研究グループ。昭和62年11月28日 pp.23-34
3. F.Gilbert : Gravitationally Perturbed Elastic Waves, Bull.of Seis. Soc. of America, Vol.57, No.4, August, 1967, pp789-794.