

(35) 模型地盤に生ずる振動モードについての波動論的考察

東京理大 ○森地 重暉

東京理大 田村 浩一

1. はじめに

長大構造物や地中構造物の耐震性を検討するに当つては、地盤の地震時挙動を詳細に調査することが基本的である。 広がりの大きいこれらの構造物については、地盤各所の動きの差が問題になり、そのためにアレイ観測等により得られた強震記録等を利用して波動論的な究明が行なわれつつある。

地盤の地震時挙動を検討するために強震記録を用いる方法のほかに、室内模型実験をもちいる方法がある。 波動実験を行なうには波動の発生機構、地盤模型の端部境界の影響、記録方法等について考慮を要することがあり、実験の実施が容易でないことが多い。 一方、振動実験では波動は定常波として把握されるのであるが、実験の実施は容易となる。 それ故に、定常波として検出された波動の性質が分かれば、そのような波動の影響下における構造物の挙動を観察することも可能になる。 このような観点から、剛基礎上にある模型地盤に生ずる振動モードについて波動論的な考察を加えた報告^{1), 2), 3)}が著者のものも含めて発表されている。 その中では単純な境界条件ではあるが、模型地盤に生ずる振動モードのうち水平動の主なものとは Love 波によるものであり、又、上下動は Rayleigh 波によるとして説明できることを示した。 本報告は Rayleigh 波によるものと思われる振動モードについて実験的な追認を行つたものである。

2. 実験計画

既報¹⁾では、模型地盤に生ずる上下動を伴う固有振動モードは Rayleigh 波により生ずるらしいことを実験的に示した。 模型地盤に生じた振動モードのうち水平方向の定常波の波長 (λ) と振動数 (f) との積より波速 (v) を求め、横波伝播速度 (v_s) に対する比 (v/v_s) を λ/H (地盤高) に対して求め分散の状況を調べていった。 実験値は理論分散曲線⁴⁾を説明するとして既報¹⁾の結論を得たのであるが、次の諸点で検討を要することが残された。(1) 振動モードの振幅分布について未検討であること、(2) λ/H の大きくなる範囲では実験値の (v/v_s) が理論分散曲線よりずれていること、(3) 実験資料は全て基本モードのものに対応し高次モードのものが検出できなかったこと、等である。 本報告では、これらの諸点に関し実験的検討を加えることにした。

(1) の問題に関しては定常振動実験であることを活用して、肉眼的観察により振動中の模型に生じた振動振幅を読み取り、得られた結果を理論値と対比して検討を加えた。(2) における問題は Rayleigh 波の伝播においては水平変位と鉛直変位とが互いに 90° の位相差のあることに原因している。

既報¹⁾において用いた両端部が固定の模型地盤では境界条件が不十分であったと考えられ、模型横巾 (60 cm) に相当する波長をもつ振動モードの実験資料では理論分散曲線とに差異が生じたものと思われる。 そこで、模型端部においては水平変位は自由とし、又、鉛直変位を拘束するようにして実験を行なうことにした。 Love 波に関する実験結果³⁾から類推して、(3) に述べた高次モードの資料は、基本モードよりも高い振動数の下で得られるものと考えた。 しかし、既報¹⁾において用いた 60 (横幅) $\times$ 4 (厚さ) $\times$ 6 (高さ) cm 程度の寸法の模型地盤は高い振動数 (例えば、せん断 2 次振動数) では 3 次元的な振動状態になる。 比較検討に用いた理論解⁴⁾は平面ひずみ状態のものであるので、実験でもこの状態に近ずけるべく計画した。 高次モードについて検討するのは、単に模型実験的な意義を深めることを目的としたのではなく、実地震においてそれを把握した事例⁵⁾のあることを考慮したためである。

3. 実験方法、実験結果とその検討

実験模型材料としては、既報¹⁾の場合と同様にアクリルアミドゲルを用いた。 この材料の横波伝播速度は 2 ~ 3 m/sec 程度であるため低い固有振動数の模型が得られ、また、材料を透明にすることができ

るので、この種の実験には好都合である。

(1) の検討のために用いた供試体は60 (横幅) x 8 (厚さ) x 8 (高さ) cm の寸法のもので、模型端部は固定境界とした。 底部にはアルミニウム板を置き、剛基礎と考えた。

図-1 (a) に示される通り模型を矢印位で左右逆対称に、又、上下方向に加振した。 そして、得られた振動モードのうち比較的短い波長のものについて検討した。 図-1 (a) に示す諸点には、紙ヤスリに用いた粉末を付け、これを適当な角度で照射すると鋭い輝きを示す。 そのようにして得られた振動軌跡を読み取り顕微鏡で観察した。 図-1 (b) には、3 つの鉛直線上の振動モードの平均値と理論値との比較が示されている。 実験結果は理論値を説明していると考えてよい。 又、他の波長について同様な検討を行なった結果、類似した結論を得ることができた。

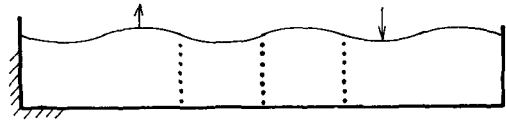


図-1 (a)

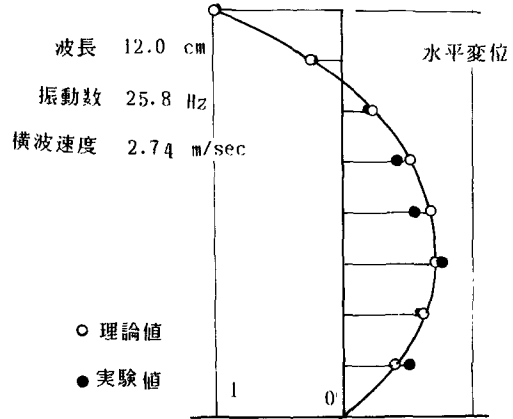


図-1 (b)

(2) の検討に対しては、図-2 に示す工夫を一例として施し、模型端部において水平方向には変位が自由で鉛直方向には拘束するようにした。 アルミニウムの丸棒 (直径 10 mm) を用いたが、丸棒の中心部は回転自由で、且つ、丸棒自体は移動しないように工夫した。 模型の寸法、形状ならびに加振方法は (1) の検討の場合と同様にした。

表-1 には、既報¹⁾の実験結果が示されており、理論分散曲線と対比すると図-3 に示すようになる。 本報告での資料は、表-2 および図-3 に示されており、それらを図-3 に書き入れる。

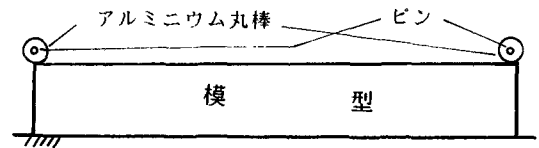


図-2

	横幅	厚さ	高さ	横波速度
模型-1	60 (cm)	8 (cm)	6 (cm)	2.54 (m/sec)
模型-2	60	8	8	2.59
模型-3	60	8	8	3.41

表-2

	f (Hz)	λ (cm)	v (m/sec)	v/v_s	λ/H
模型-1	13.4	60	8.0	3.2	1.0
模型-2	11.4	60	6.8	2.6	7.5
模型-3	15.3	60	9.2	2.7	7.5

表-3

	f (Hz)	λ (cm)	v (m/sec)	v/v_s	λ/H
1	9.8	60	5.9	2.8	1.0
2	13.4	30	4.0	1.9	5.0
3	17.4	22.5	3.8	1.8	3.8
4	18.5	15	2.8	1.3	2.5
5	21.0	12	2.5	1.2	2.0
6	22.7	10	2.3	1.1	1.7
7	22.5	8.5	2.2	1.0	1.4
8	27.9	7.5	2.1	1.0	1.3

f : 加振振動数 v_s : 横波速度 (2.11 m/sec)

表-1

模型-1のものは(●)、模型-2のものは(◎)、又、模型-3のものは(●)印にて示されている。これらの資料は、既報¹⁾のものに比べより正確に分散曲線を説明していると考えてよい。図-4には、波長60 cmの定常波が示されている。ストロボスコープを用いて振動状況を観察すると矢印にて示された位相の状況を把握することができる。



図-4

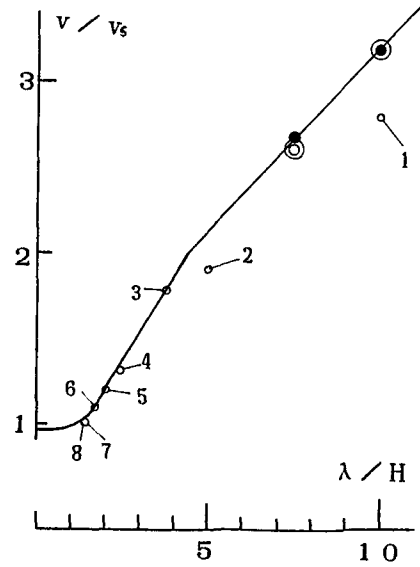


図-3

(3)に示した高次モードについての実験計画に沿って工夫を施し、60(横幅)×60(厚さ)×8(高さ)cmの模型地盤を用いた。模型の4つの側面は固定境界であるとし、底部はアルミニウム板として剛基盤上にある表層を想定した。模型を振動台上にのせ、水平方向に加振した。水平方向にそった側面はアクリル板とし、鉛直方向の振動モードが観察できるようにした。図-5には実験模型の様子が描かれているが、加振方向にそった模型中央部a a'部分について上下動を観察し、種々の定常波について資料を示すと表-4のようになる。理論分散曲線との対比から 1)から6)までのものは基本モードに、また、7)は1次モードに対応すると考えられる。(図-6)

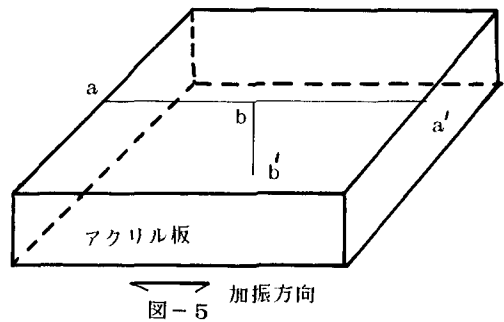


図-5 加振方向

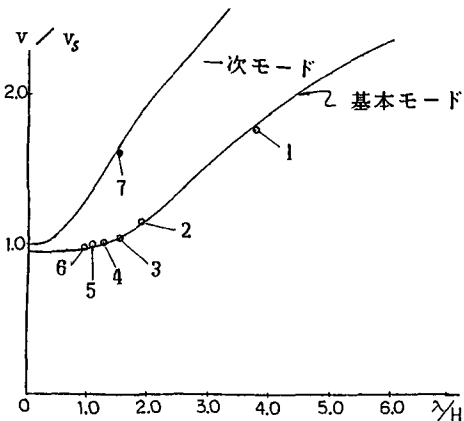
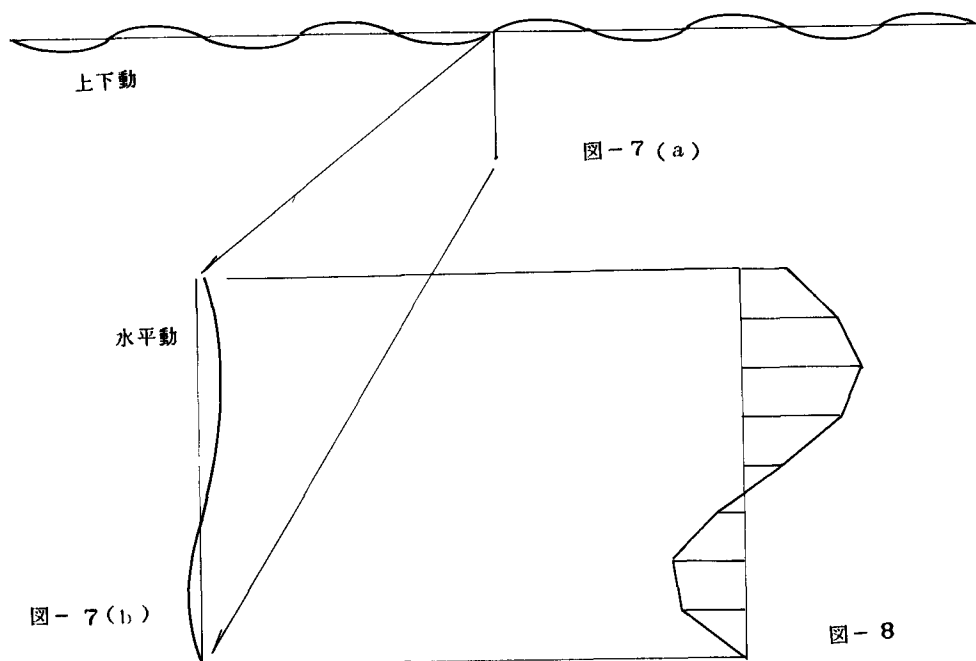
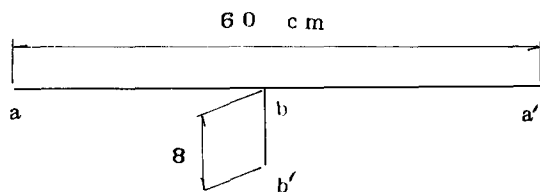


図-6

	f(Hz)	λ (cm)	v(m/sec)	v/v _s	λ/H
1	16.3	30	4.9	1.8	3.8
2	21.1	15	3.2	1.2	1.9
3	24.0	12	2.9	1.0	1.5
4	28.0	10	2.8	1.0	1.3
5	32.1	8.6	2.8	1.0	1.1
6	36.0	7.5	2.7	0.97	0.94
7	37.2	12.0	4.5	1.6	1.5

表-4

この1次モードについての結果を図-7(a) および図-7(b)に示す。図-7(a)は $a a'$ における上下動を示したものであり、又、図-7(b)は $b b'$ の変位状況を示したものである。このモードの理論値を図-8に示した。節の位置などについての合致をみるとこの資料は1次モードについてのものであると考えてよい。



4. 結び

既報¹⁾に続いて、剛基礎上の模型地盤に生ずる上下動がRayleigh波により生ずるらしいことを実験的に追認した。種々の改善を施して実験を行ない検討を深めた。室内模型実験で表面波の痕跡を把握したことは、地中構造物、不整形地盤におよぼす表面波の影響を検討するのに有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 森地、田村 <模型地盤に生ずる振動モードについての波動論的考察> 第17回地震工学研究発表会 1983年7月
- 2) 大町、年縄 <表面波の伝播による地盤振動についての模型実験> 第39回年次学術講演会 第1部 1984年10月
- 3) 森地、大町、年縄 <Vibration Modes characterized by Love Wave in an Elastic Layer Overlying a Rigid Basement> 土木学会論文集 No. 356/I-3, 1985年4月
- 4) 妹沢、金井 <Discontinuity in the Dispersion Curves of Rayleigh Waves> Bull. Earth. Res. Inst. 13, 1935年
- 5) 佐藤 <弾性波動> 岩波書店