

秋田大学教育学部
研究紀要(自然科学)
26, 31-49 (1976)

分散性レーリー波の諸性質

— 浅い3層構造の場合 —

野 越 三 雄*

(1975年9月10日受理)

§ 1 はじめに

多層構造(3層以上)における分散性レーリー波の理論計算は最近の電子計算機の大型化によってようやく実行できるようになった。したがって、何時でも必要に応じて何層かのレーリー波の理論的性質を容易に計算によってみれるわけである。しかし、必要に応じて計算されるがそれらは殆んど各自が個別的にある特定の狭い目的のみに用いられるだけで、その理論的性質をシステムティックに総合的にまとめて研究されては未だないようである。

勿論、これは多層になればなるほど多くのパラメーターを考えなくてはならず、その理論的諸性質を判断するのが極めて複雑で困難をきわめるからである。初期の電子計算機の時代に、手計算のものもいれると、2層構造の場合の性質は多くの研究報告¹⁾にみられるように殆んど究めつくされた観がある。

この論文では浅い3層の場合に限り、このような分散性レーリー波の諸性質を総合的に検討するために計算し、整理した。

分散性レーリー波の諸性質の解明は微動などの波動に対してもその基礎的な理論的性質の整理によって充分役立つものと考えられる。

§ 2 計算方式

分散性レーリー波の理論計算は非常に複雑であるが、その方法は幾つかある。しかし、多層構造において最近最も多く用いられる方法は分散曲線等については Haskell²⁾の方法があり、この方法を更に進化させた、振幅関数等についての Harkrider³⁾の方法がある。ここで使用したのもこれらの方法による。計算に使用される3層構造の模式図を Fig. 1 に示した。ここで、 V_{P1} , V_{P2} , V_{P3} はそれぞれ第1, 2, 3層におけるP波速度、 V_{S1} , V_{S2} , V_{S3} はそれぞれ第1, 2, 3層におけるS波速度、 μ_1 , μ_2 , μ_3 はそれぞれ第1, 2, 3層における剛性率、 ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 はそれぞれ第1, 2, 3層における密度、そして、 σ_1 , σ_2 , σ_3 はそれぞれ第1, 2, 3層におけるポアソン比を示す。また、剛性率比を $\mu_2/\mu_1 = X_1$, $\mu_3/\mu_2 = X_2$ とし、 d_1 , d_2 はそれぞれ第1, 2層の厚さを表わしている。この3層構造によって、Table 1 のような大きくみて6例について計算し検討した。また、この6例について実際の場合に出来るだけ近づけるようにしたデータの構造を Table 2-1, Table 2-

* 物理学研究室

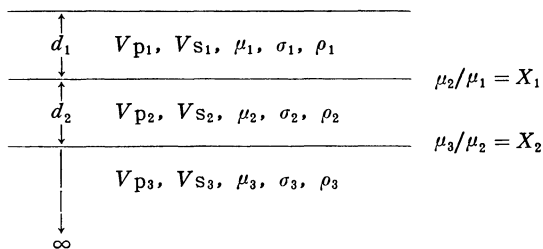


Fig. 1. Assumed structure.

Table 1 Six cases used for calculation

Variable	Constant
$H = d_2$	$d_1 = 5\text{m}, X_1 = \mu_2/\mu_1 = 10, X_2 = \mu_3/\mu_2 = 2$
$H = d_2$	$d_1 = 5\text{m}, X_1 = \mu_2/\mu_1 = 2, X_2 = \mu_3/\mu_2 = 10$
$H = d_1$	$d_2 = 5\text{m}, X_1 = \mu_2/\mu_1 = 2, X_2 = \mu_3/\mu_2 = 10$
$H = d_1$	$d_2 = 5\text{m}, X_1 = \mu_2/\mu_1 = 10, X_2 = \mu_3/\mu_2 = 2$
$X_1 = \mu_2/\mu_1$	$X_2 = \mu_3/\mu_2 = 2, d_1 = d_2 = 5\text{m}$
$X_2 = \mu_3/\mu_2$	$X_1 = \mu_2/\mu_1 = 2, d_1 = d_2 = 5\text{m}$

に示した。

この論文で検討された分散性レーリー波の諸性質は kH (k :波数, H :厚さ, $H = d_1, H = d_2$), minimum group velocity 値 (GV), それを満たす周波数 (GV (FR)), 上下動の振幅関数の max. 値 (A (VR)), それを満たす周波数 (A (VR, FR)), 水平動の振幅関数の max. 値 (A (HR)), それを満たす周波数 (A (HR, FR)), 上下動と水平動との振幅比の max. 値 ($R_m, |R_m|$), そして, それを満たす周波数 ($|R_m|$ (FR)) である。

§ 3 計算結果及び考察

まず, ケース 1 として第 2 層の厚さを変化させ, 第 1 層と 2 層の境界に contrast の大きい場合を考え, それを $\mu_2/\mu_1 = X_1 = 10$ として, その深さ変化毎の地表におけるレーリー波の前述した諸性質について調べた。総合的な判断は後述するとして, その最も重要なスペクトルに相当する振幅関数 (上下動) の変化を見てみよう。それを Fig. 2 に示す。図中の上部にある数字は d_2 の変化を示し, (10, 2) とは $\mu_2/\mu_1 = 10, \mu_3/\mu_2 = 2$ であることを示す。これをみるとスペクトルの形は殆んど同じ形をしており, 顕著なことはその卓越周期は全く d_2 を変化させても変化しないことがみられる。そして, 第 1 層と 2 層の境界がその contrast を強く示す所では, 第 2 層と 3 層の境界の contrast が弱いと, 地表でのスペクトルの形にも, ピークを満たす周期にも何の影響も与えないことがわかる。次に, この場合における, 諸性質の中の, 地表における上下動成分 w_0 , 水平動成分 (この場合は radial 成分) u_0 との振幅の比 $u_0/w_0 = R$ とその max. 値 R_m 又は $|R_m|$ を検討してみよう。これらは Fig. 3 に示されている。これも詳しいことを後述するとして, その形などを見てみよう。やはり, 深さの変化に伴って形も, $R, |R_m|, |R_m|$ を満たす周波数も変化していないようである。ケース 1 のような場合には, 結局, これら 2 つの性質は変化しないことがわかる。つまり, contrast の強い境界でない所の深さを変化させても, それより浅い所に contrast の強い境界があ

Tabel 2—1 Assumed data used for calculation

Case	No	Thickness	Rigidity ratio	Vel. of P-wave	Vel. of S-wave	Poisson's ratio	Density
	i	d_i (m)	$X_i = \mu_{i+1}/\mu_i$	V_{pi} (m/sec)	V_{si} (m/sec)	σ_i	ρ_i (g/cm ³)
1	1	5		636	150	0.470	1.0
	2	0					
	3	∞		1496	668	0.390	1.0
	1	5	10	636	150	0.470	1.0
	2	1		1161	471	0.400	1.0
	3	∞	2	1496	668	0.390	1.0
	1	5	10	636	150	0.470	1.0
	2	5		1161	471	0.400	1.0
	3	∞	2	1496	668	0.390	1.0
	1	5	10	636	150	0.470	1.0
	2	10	2	1161	471	0.400	1.0
	3	∞		1496	668	0.390	1.0
	1	5	10	636	150	0.470	1.0
	2	15	2	1161	471	0.400	1.0
	3	∞		1496	668	0.390	1.0
	1	5	10	636	150	0.470	1.0
	2	20	2	1161	471	0.400	1.0
	3	8		1496	668	0.390	1.0
2	1	5		714	100	0.490	1.0
	2	0					
	3	∞		1093	446	0.400	1.0
	1	5	2	714	100	0.490	1.0
	2	1	10	877	141	0.480	1.0
	3	∞		1093	668	0.400	1.0
	1	5	2	714	100	0.490	1.0
	2	5	10	877	141	0.480	1.0
	3	∞		1093	668	0.400	1.0
	1	5	2	714	100	0.490	1.0
	2	10	10	877	141	0.480	1.0
	3	∞		1093	668	0.400	1.0
	1	5	2	714	100	0.490	1.0
	2	15	10	877	141	0.480	1.0
	3	∞		1093	668	0.400	1.0
	1	5	2	714	100	0.490	1.0
	2	20	10	877	141	0.480	1.0
	3	∞		1093	668	0.400	1.0
3	1	0		714	100	0.490	1.0
	2	5	10	877	141	0.480	1.0
	3	∞		1093	668	0.400	1.0
	1	1	2	714	100	0.490	1.0
	2	5	10	877	141	0.480	1.0
	3	∞		1093	668	0.400	1.0
	1	5	2	714	100	0.490	1.0
	2	5	10	877	141	0.480	1.0
	3	∞		1093	668	0.400	1.0
	1	10	2	714	100	0.490	1.0
	2	5	10	877	141	0.480	1.0
	3	∞		1093	668	0.400	1.0
	1	15	2	714	100	0.490	1.0
	2	5	10	877	141	0.480	1.0
	3	∞		1093	668	0.400	1.0
	1	20	2	714	000	0.490	1.0
	2	5	10	877	141	0.480	1.0
	3	∞		1093	668	0.400	1.0

Table 2-2 Assumed data used for calculation

Case	No	Thickness	Rigidity ratio	Vel. of P-wave	Vel. of S-wave	Poisson's ratio	Density
	i	d_i (m)	$X_i = \mu_{i+1}/\mu_i$	V_{pi} (m/sec)	V_{si} (m/sec)	σ_i	ρ_i (g/cm ³)
4	1	0					
	2	5	2	1161	474	0.400	1.0
	3	∞		1496	668	0.390	1.0
	1	1	10	636	150	0.470	1.0
	2	5	2	1161	474	0.400	1.0
	3	∞		1496	668	0.390	1.0
	1	5	10	636	150	0.470	1.0
	2	5	2	1161	474	0.400	1.0
	3	∞		1496	668	0.390	1.0
	1	10	10	636	150	0.470	1.0
	2	5	2	1161	474	0.400	1.0
	3	∞		1496	668	0.390	1.0
	1	15	10	936	150	0.470	1.0
	2	5	2	1161	474	0.400	1.0
	3	∞		1496	668	0.390	1.0
	1	20	10	636	150	0.470	1.0
	2	5	2	1161	474	0.400	1.0
	3	∞		1496	668	0.390	1.0
5	1	5	10	636	150	0.470	1.0
	2	5	2	1161	474	0.400	1.0
	3	∞		1496	668	0.390	1.0
	1	5	8	636	150	0.470	1.0
	2	5	2	1035	424	0.400	1.0
	3	∞		1340	598	0.390	1.0
	1	5	6	636	150	0.470	1.0
	2	5	2	1039	367	0.425	1.0
	3	∞		1267	517	0.400	1.0
	1	5	4	636	150	0.470	1.0
	2	5	2	948	300	0.450	1.0
	3	∞		1197	423	0.425	1.0
	1	5	2	636	150	0.470	1.0
	2	5	2	895	211	0.470	1.0
	3	∞		942	298	0.450	1.0
6	1	5	2	714	100	0.490	1.0
	2	5	10	877	141	0.480	1.0
	3	∞		1093	446	0.400	1.0
	1	5	2	714	100	0.490	1.0
	2	5	8	877	141	0.480	1.0
	3	∞		977	399	0.400	1.0
	1	5	2	714	100	0.490	1.0
	2	5	6	877	141	0.480	1.0
	3	∞		950	345	0.423	1.0
	1	5	2	714	100	0.490	1.0
	2	5	4	877	141	0.490	1.0
	3	∞		950	282	0.451	1.0
1	5	2	714	100	0.490	1.0	
2	5	2	877	141	0.490	1.0	
3	∞		950	241	0.488	1.0	

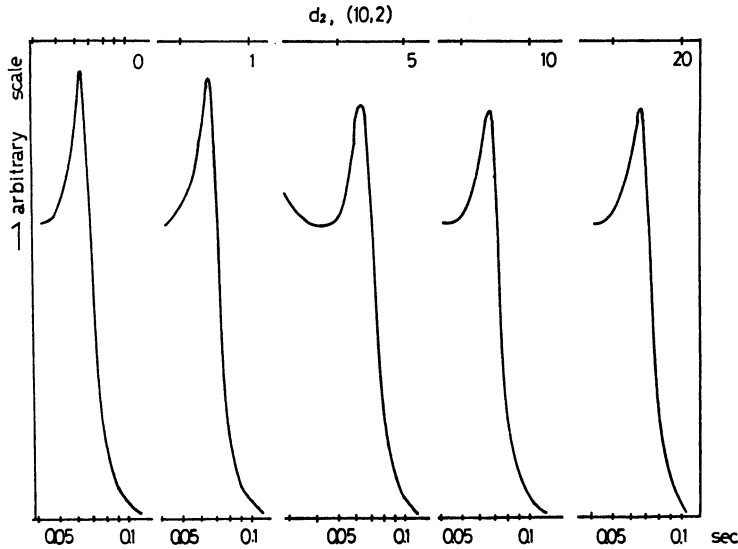


Fig. 2. Amplitude functions $A(VR)$ of vertical components for different thickness parameters d_2 in case of $X_1 = 10$ and $X_2 = 2$.

った場合には地表でのスペクトル，振幅比 R などには殆んど影響を与えないのである。

次にケース2について上にあげた2つの性質について考えてみよう。Table 1にも示されているようにケース1と異なる所は $\mu_2/\mu_1 = 2$ ， $\mu_3/\mu_2 = 10$ としていることである。したがって，contrastの強いのは第2層と3層の境界であって，第1層と2層の境界のcontrastは弱くなっているのである。即ち，今度はそのcontrastの強い境界を，上に1層をもったまま，深さを変化させたことになる。まず，そのスペクトルの変化をFig. 4に示した。図中の数字は d_2 の変化させる数値，(2, 10)は $\mu_2/\mu_1 = 2$ ， $\mu_3/\mu_2 = 10$ ，を示す。この場合，顕著なことはケース1とは異なり，その形と共に卓越周期が長周期側へ移動していくことである。つまり，深さが増すにつれて，それに反応する地表のスペクトルの卓越してくる周期も大きい方へと変化している。3層構造の場合，浅くにcontrastの弱い境界があり，contrastの強い境界がある深さにあるとこの強いcontrastを示す境界に地表のスペクトルは反応することがみられるのである。しかし，そのピークは深くなるにつれて，鈍くなってくるのは注目したい現象である。さらに，この場合のFig. 5に示された R ， $|R|$ ， $|R_m|$ などをみると d_2 の変化につれて，やはり形で変化していくのがみられる。 $|R|$ のmax.値を示す周波数も変化しており，深さの増加と共に低周波側に移り，そして0線と交わる点も低周波数側に移動していくこともよくわかる。したがって，これらの性質は上のようなケース特有の構造の特性に非常に関連しているものであろう。卓越周期と厚さという問題について2層構造の場合はその理論的指摘があるが，かつて筆者は微動の振幅特性⁴⁾をいろいろ研究していたとき，この $|R|$ ， $|R_m|$ を実測から算出したことがあるがそのときにも構造の違いを鋭敏に示していたことを指摘した。この $|R|$ ， $|R_m|$ と構造との関連は非常に複雑である。今後も計算，実測の両面から研究を進めた

い。
さて，今度はケース3として d_1 の変化の場合を調べてみよう。そのスペクトルはFig. 6に示されているように，図中の数字は d_1 の変化させる数値を，(2, 10)は $\mu_2/\mu_1 = 2$ ， $\mu_3/\mu_2 = 10$ の場合について表わしている。つまり，今度はケース2とよく似ているが，contrastの配置を同じくして，第1層の厚さ d_1 を移動させてみたのである。当然，この場合も， $d_1 + d_2$ であるからcontrastの強い境界が深くなればなるほどその卓越周期も，スペクトルの形も変化していく。ケース2の場合

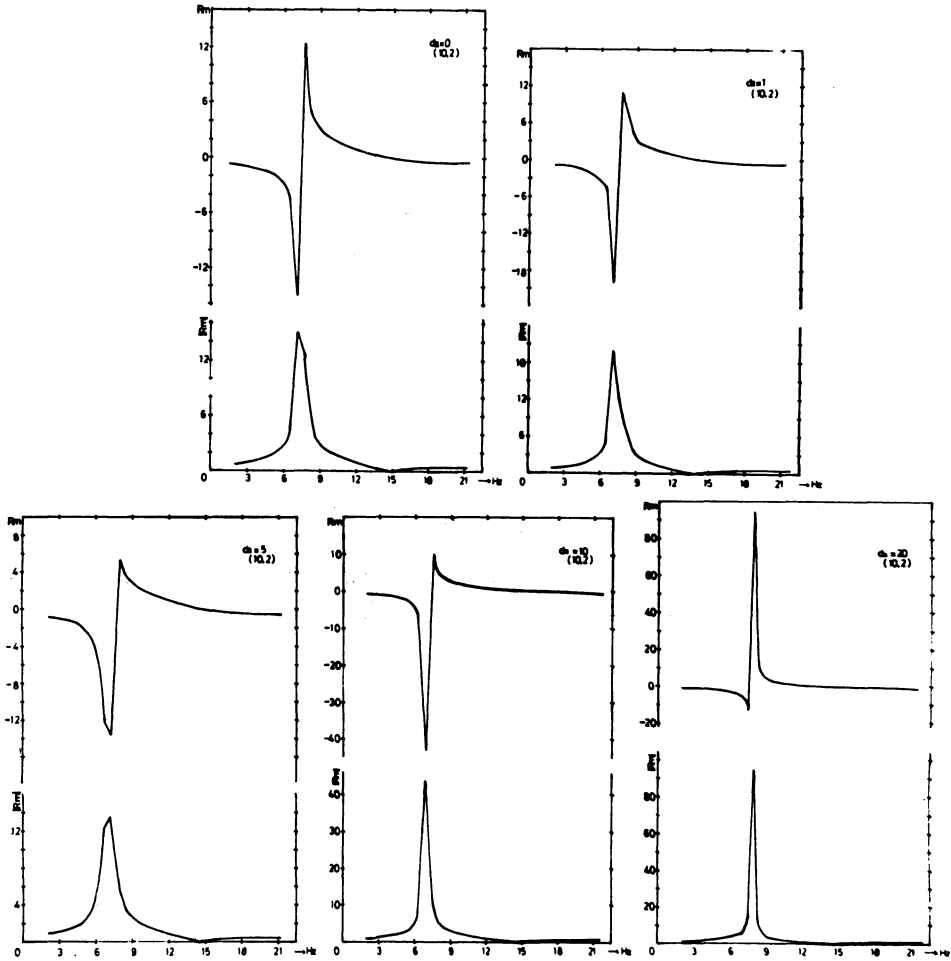


Fig. 3. Amplitude ratios $R(|R|)$ for different thickness parameters d_2 in case of $X_1 = 10$ and $X_2 = 2$.

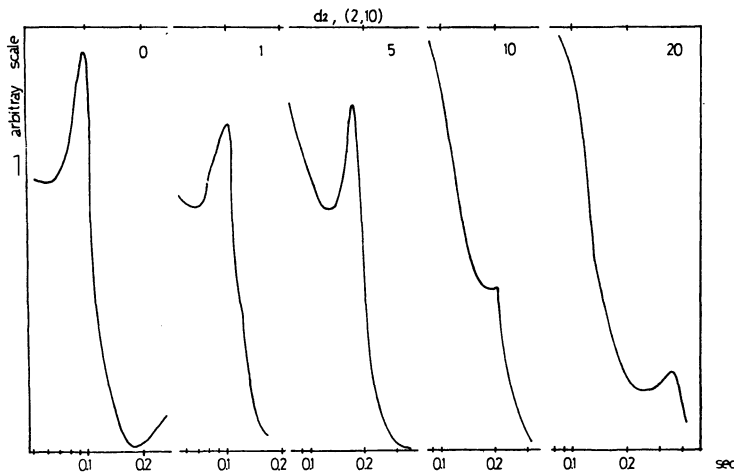


Fig. 4. Amplitude functions $A(VR)$ of Vertical components for different thickness parameters d_2 in case of $X_1 = 2$ and $X_2 = 10$.

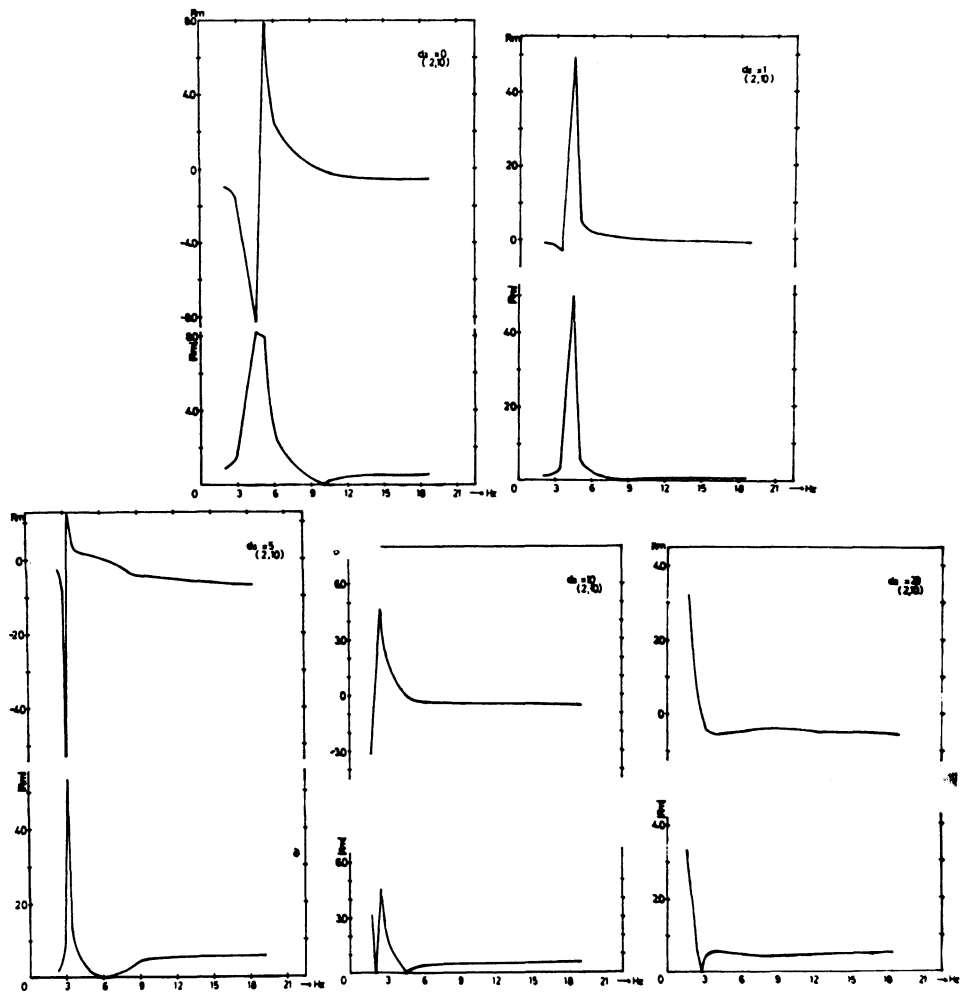


Fig. 5. Amplitude ratios $R(|R|)$ for different thickness parameters d_2 in case of $X_1 = 2$ and $X_1 = 10$.

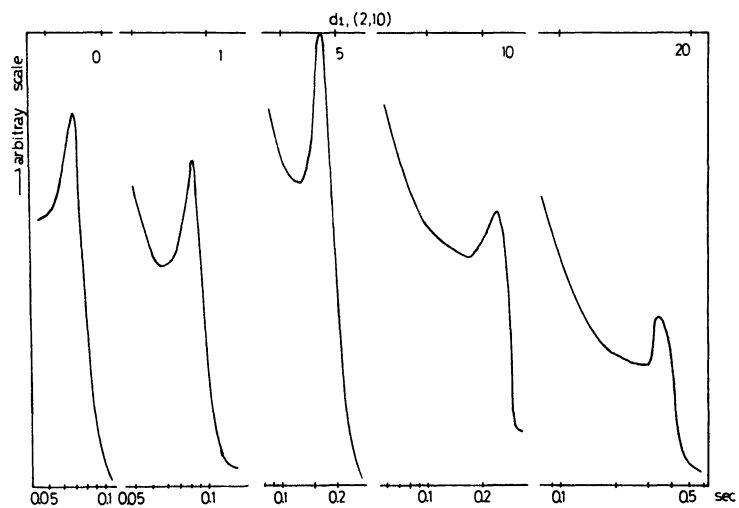


Fig. 6. Amplitude functions $A(VR)$ of vertical components for different thickness parameters d_1 in case of $X_1 = 2$ and $X_2 = 10$.

からも予想されるように卓越周期は深さが増すと長周期側へと移っていく。また、この場合も、深くなるにつれて、卓越の現象はケース2ほどではないが小さくなっていく。Fig. 7 にみられるように R , $|R|$, $|R_m|$ の深さ変化に伴う変化も全くケース2の場合と同じであって、 $|R_m|$ を示す周波数も、0線を切るときの周波数も深さが増す毎に低周波数側に移行していくのがみられる。

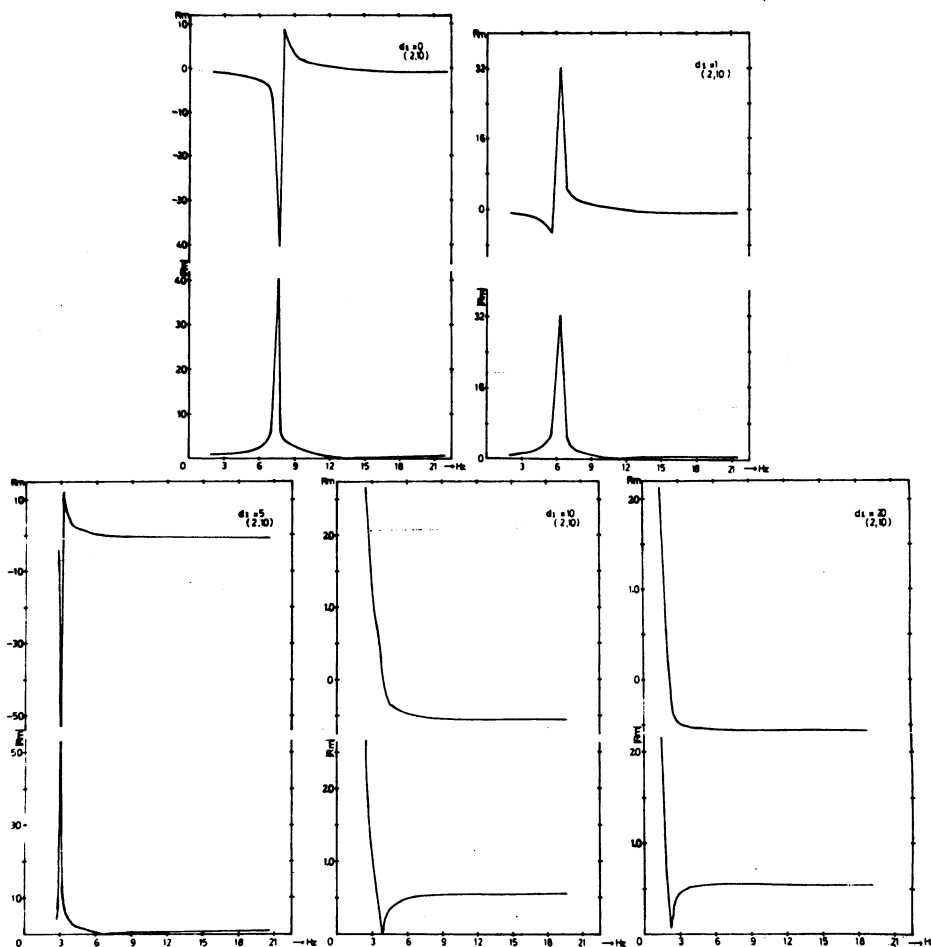


Fig. 7. Amplitude ratios $R(|R|)$ for different thickness parameters d_1 in case of $X_1 = 2$ and $X_2 = 10$.

さて、ケース4としては contrast の強い境界を第1層と2層との間にもってきて、 d_1 の変化を調べてみる。即ち、そのスペクトルは Fig. 8 に示されるように図中の数字を d_1 の変化の数値とし、(10, 2) を $\mu_2/\mu_1 = 10$, $\mu_3/\mu_2 = 2$ の意味に表わして、その変化が示されている。この場合は今迄のケースの中で最もはっきりした形で、そのスペクトルの形、卓越周期の変化という特性をみせており、 $\mu_2/\mu_1 = X_1 = 10$ の影響を最も鋭く表現している。卓越周期は d_1 の深さに非常によく対応して増大しているのがわかる。さらに R , $|R|$, $|R_m|$ を Fig. 9 に見てみると構造の変化とやは

Fig. 8. Amplitude functions $A(VR)$ of vertical components for different thickness parameters d_1 in case of $X_1 = 10$ and $X_2 = 2$.

Fig. 9. Amplitude ratios $R(|R|)$ for different thickness parameters d_1 in case of $X_1 = 10$ and $X_2 = 2$.

Fig. 8.

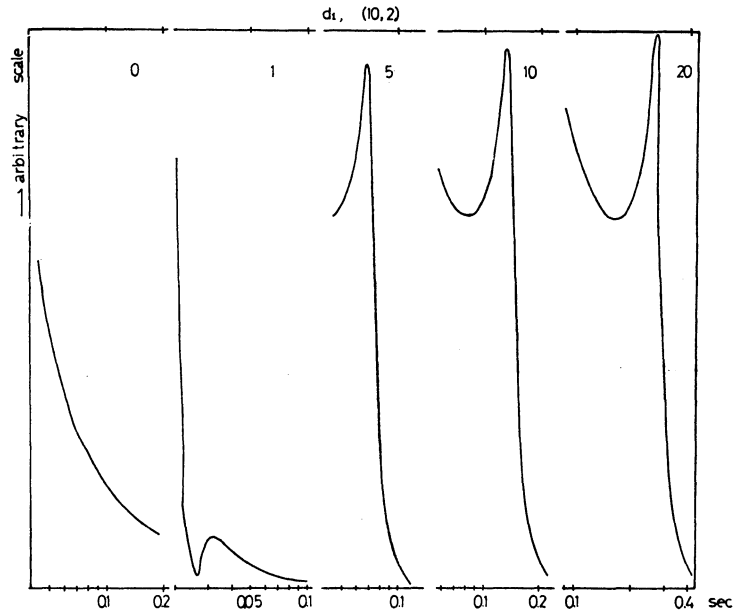
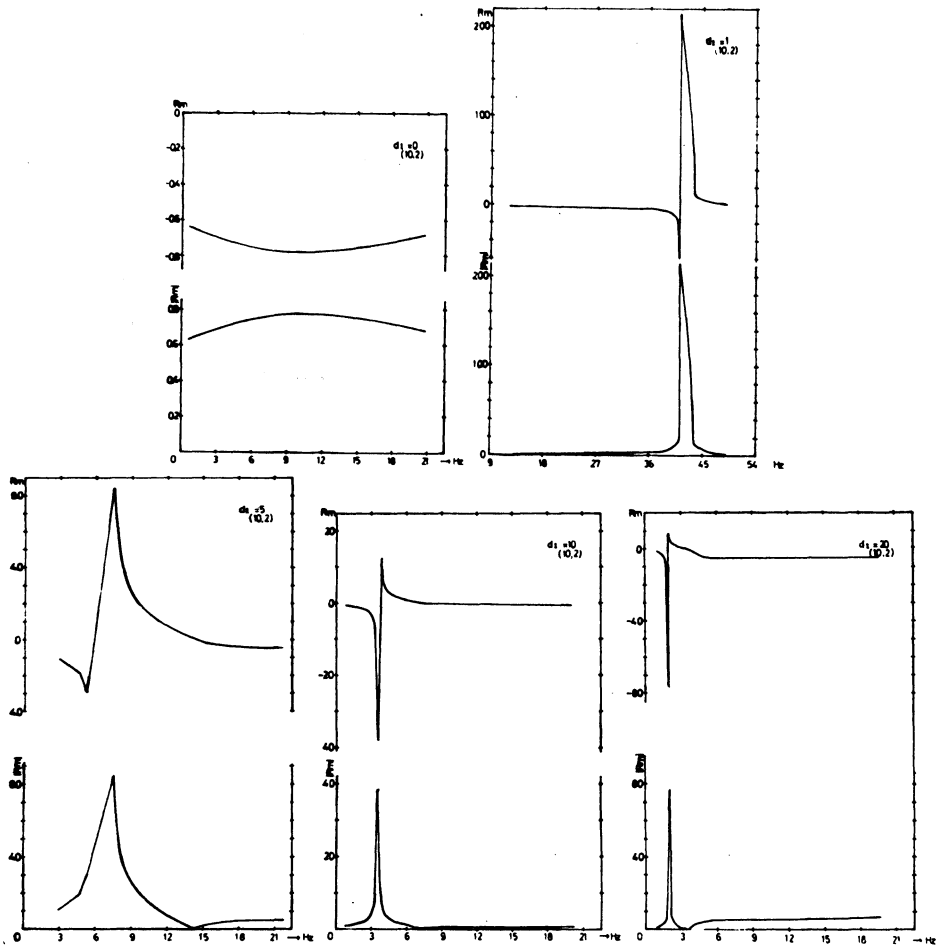


Fig. 9.



り最もシステマティックに対応しており、 $|R|$ を示す周波数も、0線と交わるときの周波数も漸次低周波数側に移動していくのがみられる。

このように、スペクトルの形、卓越周期の性質を各ケース毎に検討してみると、結局3層構造においても、その地表のスペクトルはいずれにしても contrast の強い境界に強い影響をうけており、この深さが卓越周期に最も端的に影響を与えていることがわかる。そこで、今度はこの contrast の数値を深さは一定にしておいて、いろいろ変化させて検討してみよう。まず、第1層と2層との境界を $X_1 = \mu_2 / \mu_1$ として2から10まで変化させ、 $d_1 = d_2 = 5\text{ m}$ で $X_2 = \mu_3 / \mu_2 = 2$ と一定にした。Fig. 10にはこのときの地表でのスペクトルの変化が示されてある。図中の数字は X_1 の変化する数

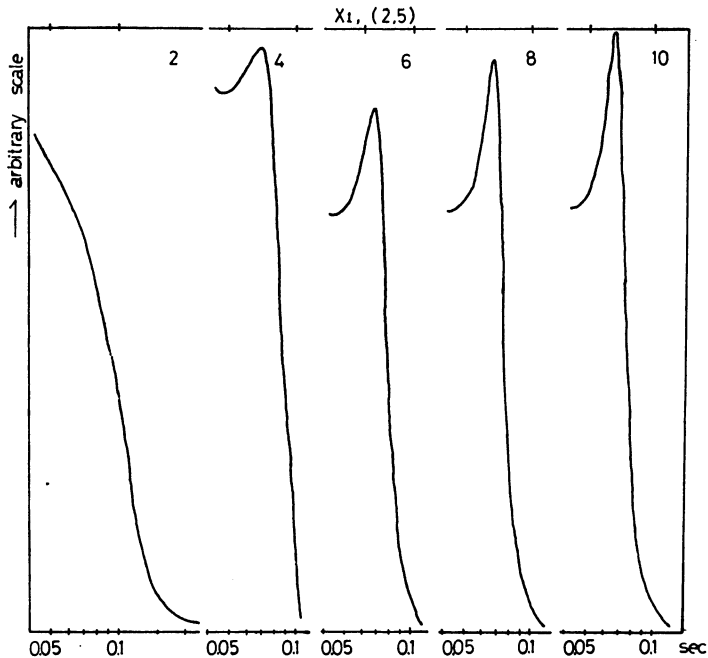


Fig. 10. Amplitude functions $A(VR)$ of vertical components for different rigidity ratio parameters X_1 in case of $d_1 = d_2 = 5\text{ m}$ and $X_2 = 2$.

値で、(2, 5)は $\mu_3 / \mu_2 = X_2 = 2$, $d_1 = d_2 = 5\text{ m}$ であることを示している。 $X_1 = 2$ のときには対象としている周波数範囲の中ではその卓越周期は存在していないが、 $X_1 = 4$ 以上くらいからは卓越する様子が明らかとなり、contrast が強くなるしたがって、そのピークは鋭くなっていく。それに対して卓越周期自体は全く変化せず、したがって、これは卓越周期そのものの数値は深さによるものであることが指摘される。そして、スペクトルの sharp さはこの場合 contrast の強さに影響されるものと思われる。また、この場合の R , $|R|$, $|R_m|$ は Fig. 11 に示されているように、これらの形はその X_1 変化につれてよく対応して変化していくのがみられるが、 $|R_m|$ を示す周波数、0線を切るときの周波数は殆んど移動していないのも注目される。 X_1 が変化するとき、contrast の影響をうけるのは R , $|R|$ にあってはその形であることが、その形が非常によく対応して変化していることから理解される。

さて、次には第2層と3層との境界の contrast を変えてみる。これが最後の場合のケース6である。Fig. 12 にそれが示されており、図中の数字が $X_2 = \mu_3 / \mu_2$ を変化させる数値であり、(5, 2)は $d_1 = d_2 = 5\text{ m}$, $X_1 = \mu_2 / \mu_1 = 2$ であることを示すものである。図から明らかなように、深さ

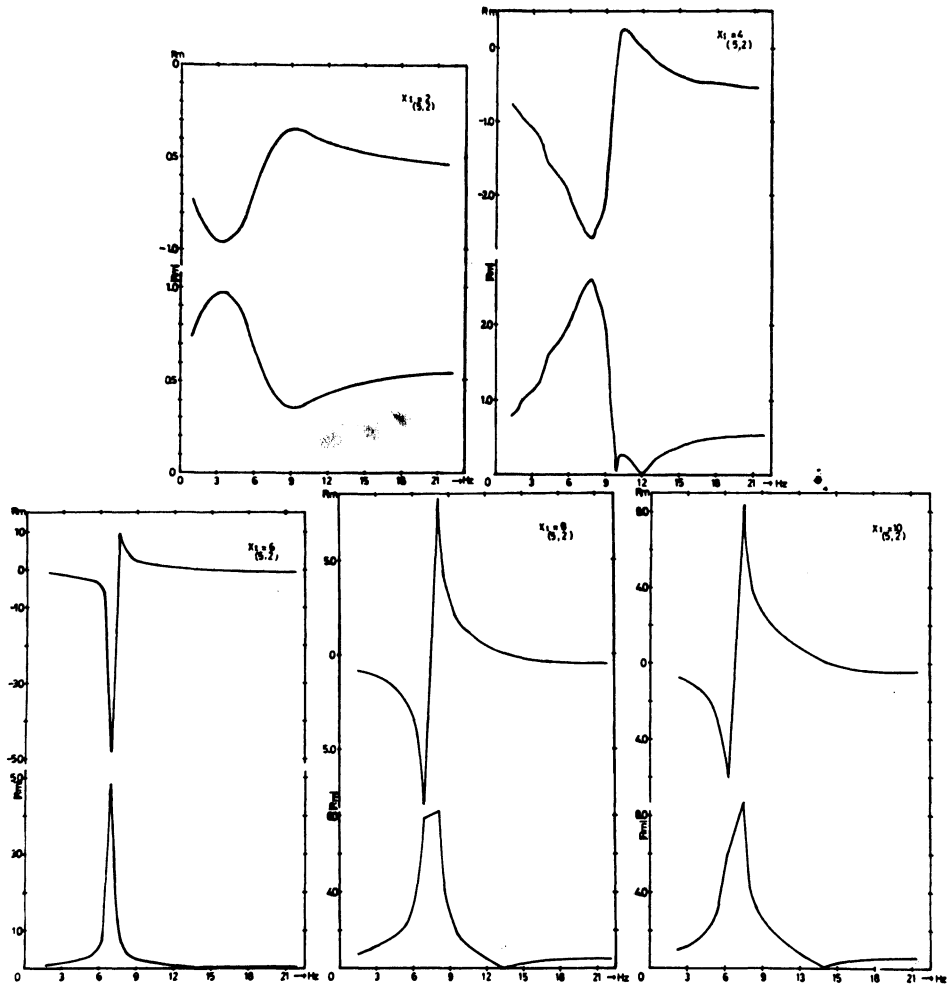


Fig. 11. Amplitude ratios $R(|R|)$ for different rigidity ratio parameters X_1 in case of $d_1 = d_2 = 5$ m and $X_2 = 2$.

$d_1 = d_2 = 10$ m の影響をうけてか全体的に卓越周期を示すピークは非常に小さい。しかし、これも、contrast の増加につれて、その影響をうけ漸次目立ってくるのがよくわかる。そして、その卓越周期それ自体は深さ $X_1 + X_2 = 10$ m と一定のため、変化していない。このときの R 、 $|R|$ 、 $|R_m|$ を示すと Fig. 13 のようになる。やはり、ケース 5 と同様にその形は X_2 の変化に伴って、よく対応して変化しているのがわかるが、contrast が強くなると $|R_m|$ を示す周波数、0 線を切る周波数ともあまり変化していない。唯、 $X_2 = 2$ から 4 くらいの変化ではその移動はケース 5 と同様に注目される。つまり、contrast の弱い場合から強い場合の移行の変わり目の微妙な変化を示唆しているのなら今後とも詳しく検討しなくてはならないだろうと思われる。さて、振幅比 R 、 $|R|$ の形、 $|R_m|$ を示す周波数、0 線を切る周波数などを見てきたのであるが、ここで、 $|R_m|$ の数値自体を今までの 5 例から詳しく検討してみよう。これらの関係を整理して図示すると Fig. 14 のようになる。一見してわかることはどの関係をもても明白な関係というものが見あたらないことである。この性質の複雑なことがよくわかる。しかし、contrast の強い境界が存在し、その下に contrast の弱い境界が存在する場合には、左図から、 $|R_m|$ は d_2 という下の境界の深さ変化と共に大小を繰り返

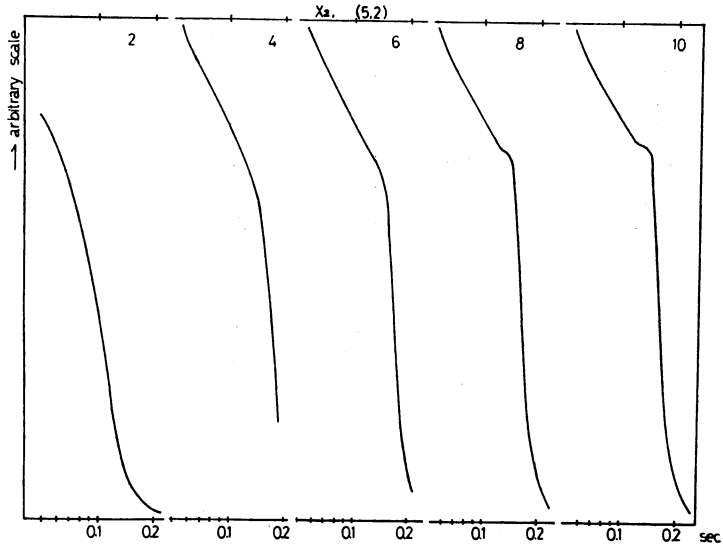


Fig. 12. Amplitude functions $A(VR)$ of vertical components for different rigidity ratio parameters X_2 in case of $X_1 = 2$ and $d_1 = d_2 = 5$ m.

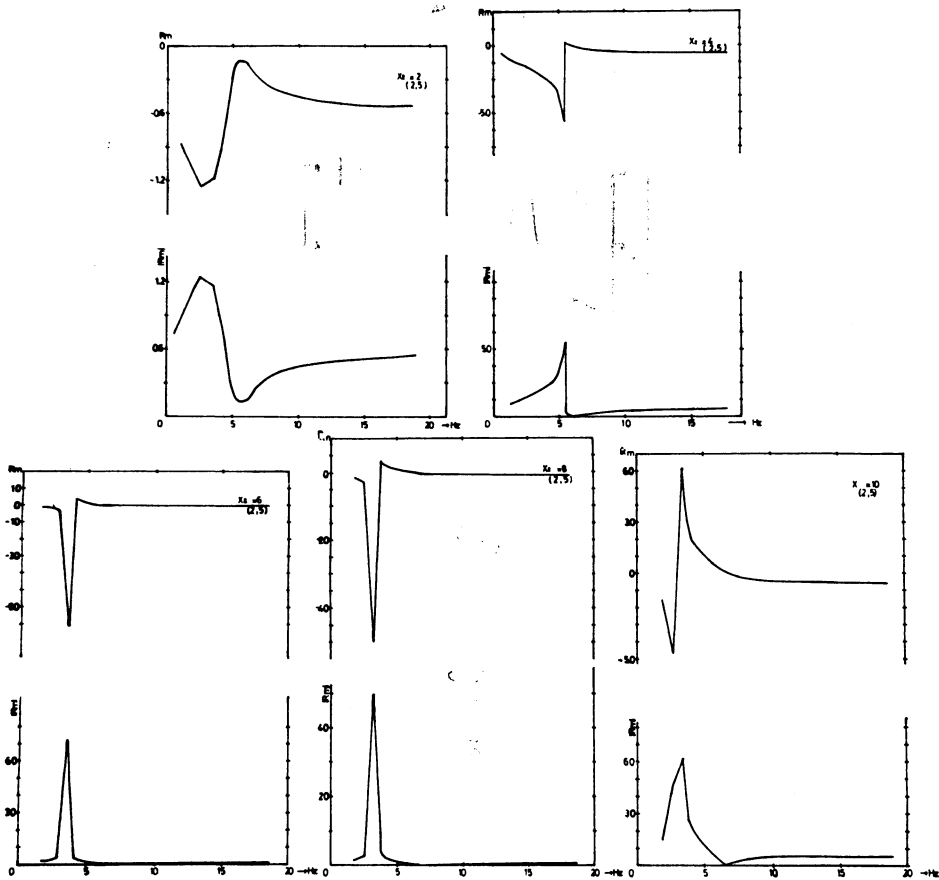


Fig. 13. Amplitude ratios $R(|R|)$ for different rigidity ratio parameters X_2 in case of $X_1 = 2$ and $d_1 = d_2 = 5$ m.

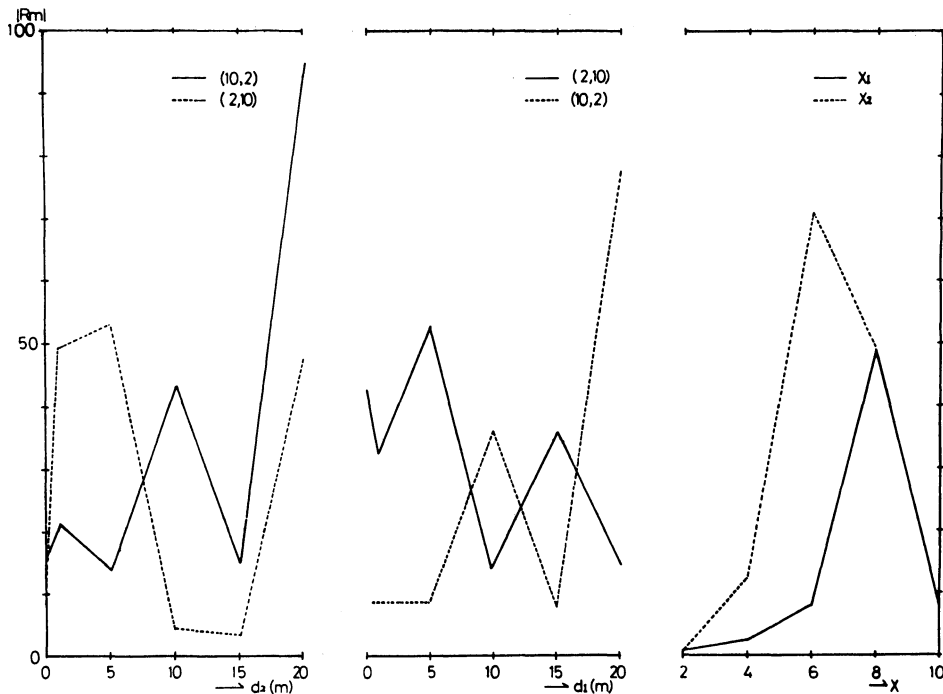


Fig. 14. Maximum values $|R_m|$ of amplitude ratios for different cases (6 cases).

しながら大きな値になっていくのは注目されるし、さらに中図からは contrast の強い境界 ($\mu_2/\mu_1 = 10$) に関わる d_1 を大きくしていくと大体の傾向として $|R_m|$ も大きくなるのに対して、contrast の強い境界がより弱い境界より深くあった場合は d_1 を大きくしていくと今度は $|R_m|$ は大体の傾向として小さくなっていく。かなり、深さ変化の場合数も少なく増加の傾向も大小の繰り返しの増大であるから、詳しい検討は今後に待たなければならないが、この漸増、漸減の傾向は構造の何によるのかは今の所不明である。前にも指摘したようにこの $|R_m|$ の複雑性を示している。それではこの $|R_m|$ は contrast の強さという点ではどのように変化するであろうか。これは同図の右に示されている。深さは一定にしておいて、浅い境界も深い境界においても、その contrast による影響はほぼ同じ傾向を示し、 X_1 、 X_2 とも漸次増大していくが6、8を境に減少してしまう。かつて、筆者は実測からの $|R_m|$ と地震動災害との関連を2層構造の場合をふまえて現象面だけから検討した⁵⁾が、上にみられるように2層構造の場合のように必しも単純ではなく、3層構造の場合には非常に複雑であることが理解される。しかし、この $|R_m|$ は一般的には未だ注目されておらず、この性質が構造とどのようにかかわっているかを今後とも多くの計算を実例でもって検討していきたい。

以上のように、分数性レーリー波の諸性質のうち、筆者の最も注目していた上下動スペクトルと振幅比の2つの性質についてやや定性的にみてきたのであるが、やはりスペクトルが最もよくその構造を単純に反映していることが示されることとなった。

次に、今までの個別的な検討はこのくらいにして、他の諸性質もいれて、またスペクトル卓越周期を示す振幅値にも注目して、全体的に比較検討してみよう。その整理したものを図示すると Fig. 15 のようになる。この図においては § 2 で述べた7つの性質について、それぞれのケースを組にして表わしてある。

Fig. 15 の中の3つの図で、上の横軸は常に solid line (実線) での scale を示し、下のそれ

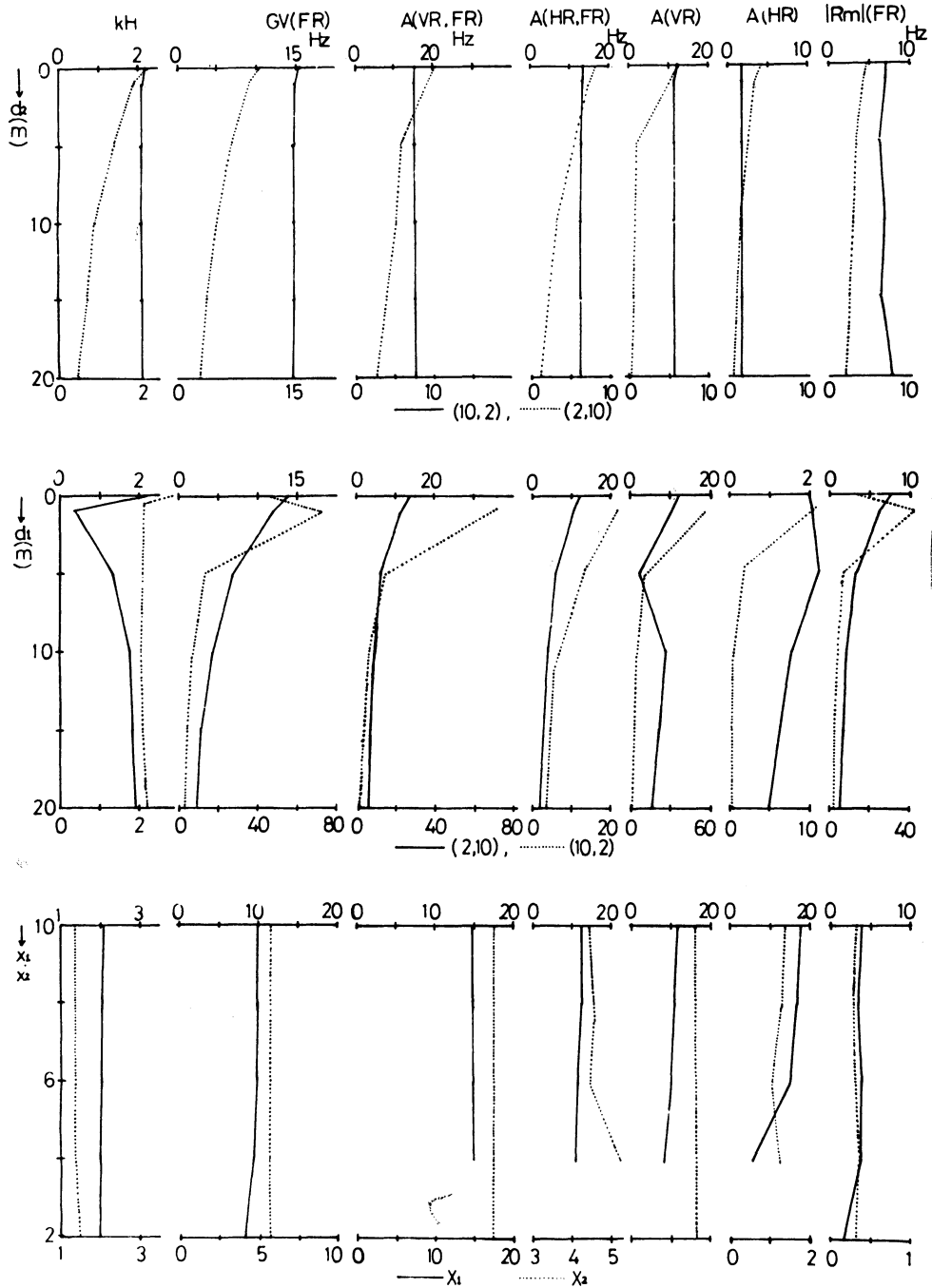


Fig. 15. Some natures of dispersive Rayleigh waves for different thickness parameters (d_2 , d_1) and rigidity ratio parameters (X_1 , X_2) in six cases.

は dotted line (点線) での scale を示している。まず, Fig. 15 の上図によって, (10, 2) で d_2 を変化させても, 諸性質の殆んどは変化しないことがはっきりわかる。それに対して, d_2 の変化は同じでも (2, 10) の場合は点線でみられるように, ここにあげた諸性質の全てが変化しているの

がわかる。それも d_2 の増加即ち $d_1 + d_2$ による深さ変化の影響を受けて、それらの数値が漸次小さくなっていくのが注目される。明らかにこれは contrast の大きい境界の存在している深さが非常に諸性質に影響を与えているということを示している。しかし、よくみるとその影響の急激さは $d_2 = 5$ m 付近までであり、10 m より深くなるとその勾配はゆるくなっていくのも注目されるべき現象である。contrast の強さが10倍程度ではその影響も漸次深くなると小さくなるのであろう。また、周波数で示されている諸性質は漸次低周波数側に移動するが、その勾配はゆるくなるようである。

さらに、中図には $(2, 10)$, $(10, 2)$ の場合について今度は d_1 を変化させる場合が示してある。大体どの性質も深さの変化と共に変化しているが、 kH を除いては後者 $(10, 2)$ の場合がより急激に変化しているのがみられる。これは勿論 contrast の強い境界が直接に深さを増していくからと理解され、諸性質に及ぼす、強い contrast 境界の影響がうかがえられる。しかし、この急激の変化も前述の場合と同様に d_1 が5または10 m までであり、比較的浅い場合に影響は大となっているのが注目される。この図で、 $d_1 = 0$ というのは結局2層構造を意味するので、又話は異なるので除いて考察した。minumum group velocity を満たす周波数と振幅関数の max. 値を満たす周波数即ちスペクトルにおける卓越周波数との一致性もここで検討すれば、 $\frac{1}{4}$ 波長則⁶⁾ の検討という興味ある問題になるが、問題が大きいので今後別の機会に取り上げることにする。さて、Fig. 15 の下図は深さ ($d_1 = d_2 = 5$ m) を一定として、 X_1 , X_2 の変化に伴う諸性質についてみたものである。どの性質についてもたいした変化はみられないが A(HR, FR) では X_2 が A(HR) では X_1 , X_2 が共に変化しているのがみられ、注目される。

さて最後に今度は Fig. 16 で示されたケースの組について、周波数についての、諸性質のうち4

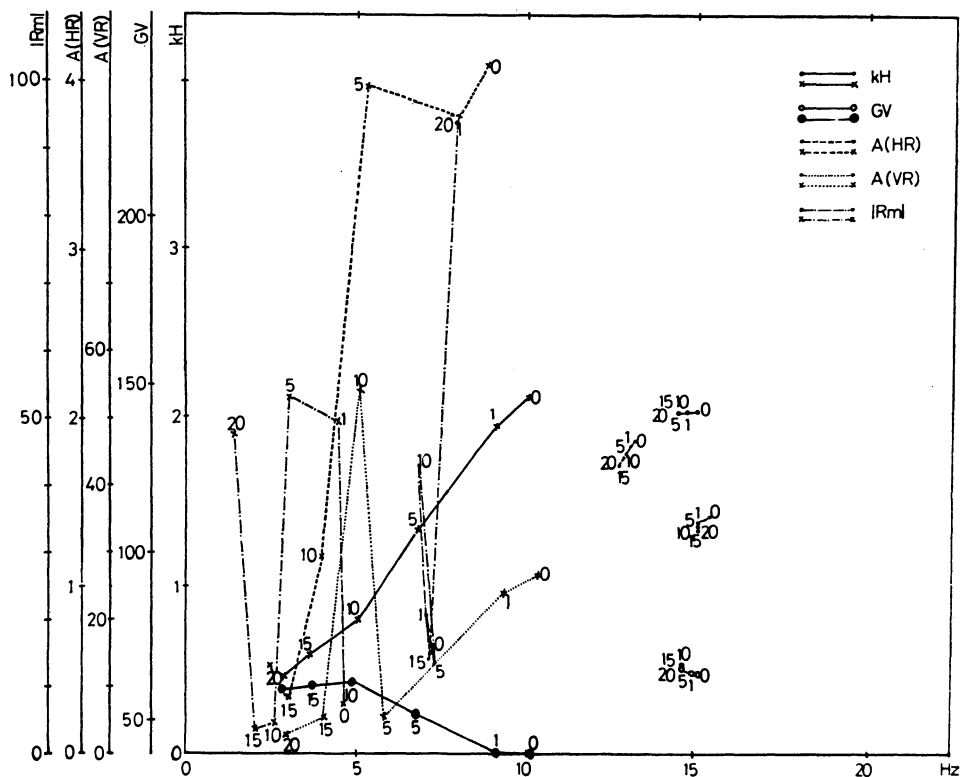


Fig. 16. Frequency characteristics of some natures of dispersive Rayleigh waves for different thickness parameters d_2 in case of $(X_1 = 10, X_2 = 2)$ and $(X_1 = 10, X_2 = 2)$.

つの性質の変化を調べてみた。第1の組 (d_2 ; パラメーター, (10, 2); \bullet 印, (2, 10); \times 印) における関係が Fig. 16 に示されている。(10, 2) の場合は $|R_m|$ を除いて、周波数の変化はみられないのに対して、(2, 10) においては周波数変化に伴って変化しているのは kH , GV であり、1点の例外を除けば $A(VR)$, $A(HR)$ などその傾向にある。これはその値が d_2 と共に周波数と関連があることを勿論示してはいるが、 GV を除いてはその傾向が d_2 の増加と共に周波数は低域になり、それにつれて、その値そのものも小さくなっていくのが注目される。

次に、Fig. 17 は6ケースのうち第2の組 (d_1 ; パラメーター, (2, 10); \bullet 印, (10, 2); \times 印) について同様の関係を示したものである。これで、やはり顕著なことは (10, 2) の場合であって、 $A(VR)$, $A(HR)$ はともに明瞭にその値は深さ d_1 の増加と共に低周波数側に移行していくのは

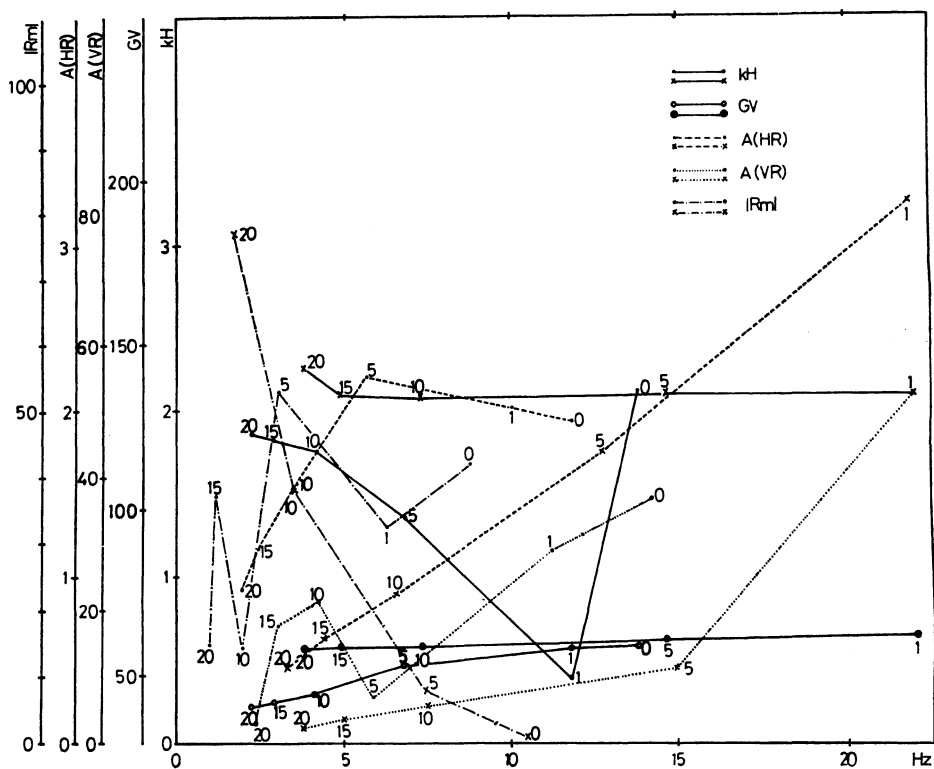


Fig. 17. Frequency characteristics of some natures of dispersive Rayleigh waves for different parameters d_1 in case of ($X_1 = 2, X_2 = 10$) and ($X_1 = 10, X_2 = 2$).

スペクトルの検討と共に注目すべきである。即ち、contrast の強い境界の深さと共に卓越周期そのものが長周期側に移るばかりでなく、その卓越周期を満たす振幅自体も小さくなることを示すのである。これは非常に興味ある点である。それに対照的に、(2, 10) の場合の $A(VR)$, $A(HR)$ であるが、この図に示されているし、今述べたように確かにこの場合も深さ $d_1 + d_2$ の増大につれて、その卓越周波数は低域に移動していく。しかし、そのときの卓越周波数を満たす振幅値は (10, 2) の場合と異って、決して単純には減少していかないことである。したがって、このことには充分注意しなければならない。ここに3層構造の特性が入ってきているのかもしれない。また、 $|R_m|$ という性質は (2, 10) の場合は複雑になっているが、(10, 2) の場合には卓越周期の場合とは反対に、深さ d_1 の増加と共に短周期側に移動しているが、これとともに $|R_m|$ の値そのものも小さくな

っていくことである。このようなことがさらに定量的にも検討されればやはり注目されよう。しかし、この場合は $d_1 = 1, 15$ m の場合が示されていないので、今後さらに検討を要する。Fig. 18 に最後の組 (X ; パラメータ, X_1 ; \bullet 印, X_2 ; \times 印) の場合を示す。この場合も明らかのように, X_1 が

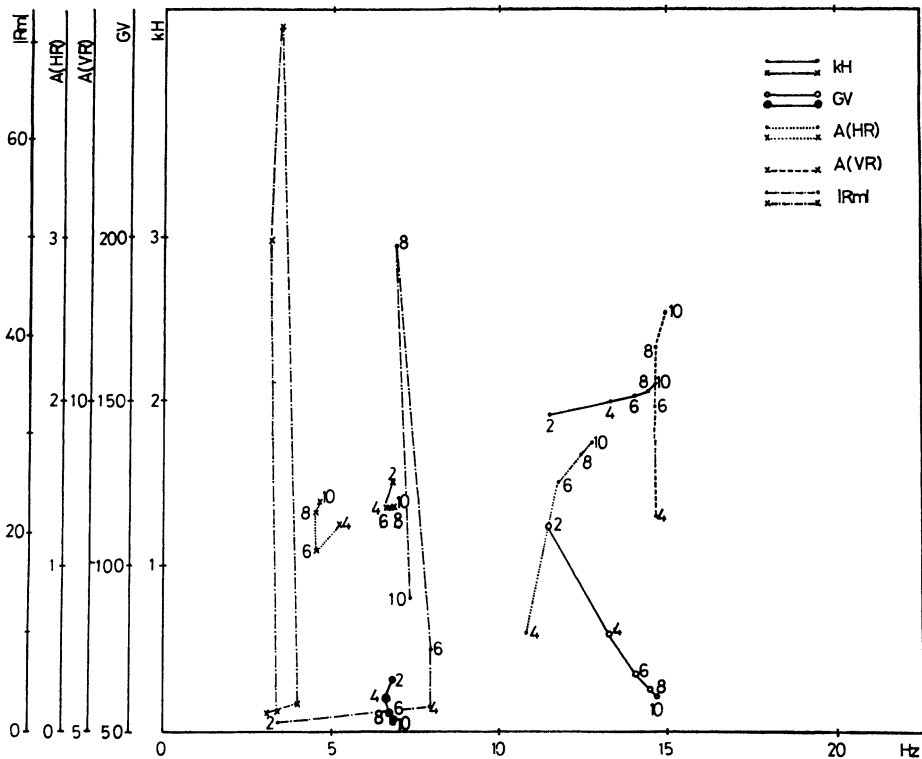


Fig. 18. Frequency characteristics of some natures of dispersive Rayleigh waves for different rigidity ratio parameters X_1 and X_2 in case of $(d_1 = d_2 = 5 \text{ m}, X_2 = 2)$ and $(X_1 = 2, d_1 = d_2 = 5 \text{ m})$.

変化した場合つまり, contrast の強い境界が浅く存在している場合の方が諸性質の変化の度合は X_2 の変化のときより大きいことがわかる。スペクトルへの影響は $A(VR)$, $A(HR)$ とともに contrast の増加と共にその卓越周期を示す振幅値そのものは増加していくし, さらに周波数は高周波数の方へ移行していくのがみられる。しかし, その周波数の幅は非常に狭い。 $|R_m|$ の変化は前述したように, X_1, X_2 も共に似たような変化の仕方をしていいるが, あまり単純な移行はしないようである。 $|R_m|$ についてはさらに組織的に検討してみたい。

§ 4 結 語

今迄述べてきたように, 本論文は整理すると次の諸点になろう。

- 1) 振幅関数での卓越周期は剛性率比の大きい, 即ち contrast の強い境界の深さに最も鋭く反応する。
- 2) 振幅関数の卓越するピークの鋭さは境界の contrast の強さ, 即ち剛性率化の大きさに密接な関係がある。
- 3) 振幅関数の max. 値は contrast の強い境界の深さと共に減少し, その周期特性は長周期側

に移行していく。

4) 振幅比 ($u_0/w_0 = R$, $|R|$) はその形は contrast の強さなどにも関係しているようであるが, $|R_m|$ は非常に複雑であって, 深さ, contrast の他にもかかわっている要因があるようにみえる。

計算は北大大型計算機センター FACOM 230-60 (課題番号 2301 EE 0002, 2301 FB 0192) によって行われた。なお, この研究には文部省科学研究費 (昭和47,48年度奨励A) の一部を使用した。

参 考 文 献

- 1) Suzuki, T., 1933, Amplitude of Rayleigh waves on the surface of a stratified medium, Bull. Earthq. Res. Inst., 11, 187-195.
- Sezawa, K. and Kanai, K., 1938, Amplitudes of Rayleigh waves with discontinuities in their dispersion curves, Bull. Earthq. Res. Inst., 16, 1-9.
- Sezawa, K. and Kanai, K., 1938, Amplitudes of Rayleigh waves with discontinuities in their dispersion curves, Bull. Earthq. Res. Inst., 16, 1-6.
- Sezawa, K. and Kanai, K., 1940, Dispersion Rayleigh waves of positive and negative-orbital motion, and allied problems, Bull. Earthq. Res. Inst., 18, 1-10.
- 小林直太, 恒川純吉, 1958, Rayleigh 型分散波の存在限界について, 地震 II, 11, 29-34.
- Tazime, K., 1958, Ray theoretical construction of dispersive Rayleigh waves, J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., VII, 1, 115-138.
- 小林直太, 1959, Rayleigh 型分散波の変位の鉛直分布, 地震 II, 12, 101-114.
- 小林直太, 1960, Rayleigh 型分散波の変位の鉛直分布 (続報), 地震 II, 13, 241-258.
- Tazime, K., 1961, Ray-theoretical construction of dispersive Rayleigh waves, J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., VII, 1, 347-365.
- Tazime, K., 1962, Dispersive Rayleigh waves in a layer overlying a half space, J. Fac. sci., Hokkaido Univ., VII, 1, 449-458.
- 太田 裕, 1963 a, 2層構造における Rayleigh 波の振幅分布, 地震 II, 1, 1-11.
- 太田 裕, 1963 b, 2層構造における Rayleigh 波の位相速度と振幅分布 ($\lambda \neq \mu$ の場合), 地震 II, 16, 12-26.
- 太田 裕, 1963 c, 水平2層構造における表面波の計算, 地震 II, 16, 78-80.
- 太田 裕, 1964, Rayleigh 型分散波の particle motion, 地震 II, 17, 179-186.
- Tazime, K., 1965, A compact expression for dispersive Rayleigh waves in a layer overlying a half space, J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., VII, 2, 149-164.
- 岡田 広, 1965, 分散性レーラー波の変位と周期との関係, 地震 II, 18, 204-218.
- 2) Haskell, N. A., 1953, The dispersion of surface waves on multilayered media, Bull. Seis. Soc. Amer., 43, 17-34.
- 3) Harkrider, D. G., 1964, Surface waves in multilayered elastic media, I, Rayleigh and Love waves from buried sources in a multilayered elastic half-space, Bull. Seis. Soc. Amer., 54, 627-679.
- 4) 野越三雄, 五十嵐享, 1970, 微動の振幅特性 (その1), 地震 II, 23, 281-303.
- 野越三雄, 五十嵐享, 1971, 微動の振幅特性 (その2), 地震 II, 24, 26-40.
- 5) 野越三雄, 五十嵐享, 1971, 微動と地震動災害について, 北大地物研究報告, 26, 169-191.
- 6) Tazime, K., 1957, Minimum group velocity, maximum amplitude and quarter wave-length law, J. Phys. Earth, 5, 43-50.