

S波多重反射理論による名古屋地盤の地震応答計算

飯田 汲事, 正木 和明, 坪井 利弘

Response Spectra of the Ground in Nagoya Area

Kumizi IIDA, Kazuaki MASAKI

and Toshihiro TSUBOI

名古屋地盤33地点における地盤増巾度曲線を Herrera and Rosenbluethの S波多重反射理論を用いて熱田層上面を地震基盤面とした場合, 第三紀矢田川累層上面を地震基盤面とした場合の二つのケースについて求めた。得られた増巾度と基盤の S 波速度に対する地表の S 波速度の比とを比較した結果, 速度比が小さい程増巾度が大きいことがわかった。また, 地震被害率との関係も調べたが, 増巾度が大きい程被害率も大きいことがわかった。

1. はじめに

地震被害の地域性に関する研究は今日まで数多くなされているが, それらの研究によって「同一地域でもわずかに離れた場所では被害の程度が異なる」という事実が明らかにされてきた。即ち, 同一地震基盤においても, 地表地盤の構造の違いにより, 被害程度が異なるということがわかってきた。この事を考えると, 地震災害に対する防災をたてる際には, 地表地盤の相異を十分に考慮する必要がある。地盤構造の違いが, 地盤の振動特性をどのように特徴づけるかを研究することは, かかる意味において重要である。

著者等は, ここ数年間, 名古屋地盤の S 波速度をはじめとする諸定数の測定を行ってきた。これらの諸定数を用いれば, 地盤の振動特性を数値計算により求めることができる。

計算の方法としては, Shibata and Hara,¹⁾ Penzin et al,²⁾ Seed等の行なった地盤を多質点系の振動モデルに置換する方法,³⁾ Idriss and Seed,⁴⁾ 武藤・内田・高瀬等が行なった地盤を小要素に分割し有限要素法を用いる方法,⁵⁾ Nishimura and Takayama,⁶⁾ Kanai, Kanai and Yoshizawa,⁷⁾ 小林・鏡味等が行なった地盤をいくつかの成層地盤に区分し重複反射理論を用いる方法,⁸⁾ これを周波数領域で行なう Haskell,⁹⁾ Herrera and Rosenblueth¹⁰⁾の方法等がある。¹¹⁾

本研究は, Herrera and Rosenblueth の方法を用いて, 名古屋地盤の振動特性を求め, それらと過去における地震被害との関係を追求したものである。

2. Herrera and RosenbluethのS波重複理論

入力地震波として S 波のみを考え, かつ, 次の 3 点が

成立していると仮定する。

- (1) 水平均質な成層構造の地盤である
- (2) S 波は最下層地盤面 (基盤面) の鉛直下方より入射する
- (3) 土の粘性によるエネルギーの損失はない

図 1 に示すように, N 層よりなる地盤を考える。ここで

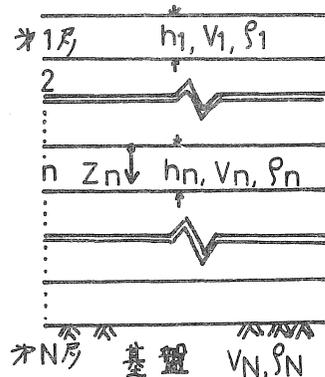


図 1 成層地盤図

- h_n : 第 n 層の層厚
- U_n : 第 n 層の水平変位
- V_n : 第 n 層の S 波速度
- ρ_n : 第 n 層の密度
- G_n : 第 n 層の剛性率
- Z_n : 第 n 層上面からの距離

とすると, 第 n 層内の S 波速度の運動方程式は次式で与えられる。

$$\rho_n \frac{\partial^2 U_n}{\partial t^2} = G_n \frac{\partial^2 U_n}{\partial Z_n^2} \quad (1)$$

ここで U_n は時間と距離の関数であり, それらを分離表示すれば

$$U_n = \bar{u}_n \exp(i\omega t) \quad (2)$$

となる。(2)を(1)に代入すると

$$G_n \frac{\partial^2 \bar{u}_n}{\partial Z_n^2} + \rho_n \omega^2 \bar{u}_n = 0$$

なり, 従って

$$\frac{\partial^2 \bar{u}_n}{\partial Z_n^2} + \left(\frac{\omega}{V_n}\right)^2 \bar{u}_n = 0 \quad (3)$$

となる。(3)を解くと

$$\bar{u}_n = A_n \cos\left(-\frac{\omega}{V_n} Z_n\right) + B_n \sin\left(\frac{\omega}{V_n} Z_n\right) \quad (4)$$

となる。ここで A_n , B_n は第 n 層における定数であり, 次のような境界条件によって決定される。

(a) 地表面ではせん断応力=0より

$$G_1 \frac{\partial U_1}{\partial Z_1} = 0 \Big|_{Z_1=0}$$

$$\frac{\partial U_1}{\partial Z_1} = -A_1 \sin\left(-\frac{\omega}{V_1} Z_1\right) + B_1 \cos\left(\frac{\omega}{V_1} Z_1\right) =$$

$$\therefore B_1 = 0 \quad (5)$$

(b) $Z_{n-1} = h_{n-1}$ と $Z_n = 0$ でせん断応力がつり合うから

$$G_{n-1} \frac{\partial U_{n-1}}{\partial Z_{n-1}} \Big|_{z_{n-1} = h_{n-1}} = G_n \frac{\partial U_n}{\partial Z_n} \Big|_{Z_n = 0}$$

$$\therefore \frac{G_{n-1}}{V_{n-1}} \left\{ B_{n-1} \cos\left(\frac{\omega}{V_{n-1}} h_{n-1}\right) - A_{n-1} \sin\left(\frac{\omega}{V_{n-1}} h_{n-1}\right) \right\} = \frac{G_n}{V_n} B_n \quad (6)$$

(c) $Z_{n-1} = h_{n-1}$ と $Z_n = 0$ で変位は等しくなくてはならないから

$$U_{n-1} \Big|_{Z_{n-1} = h_{n-1}} = U_n \Big|_{Z_n = 0}$$

$$\therefore A_{n-1} \cos\left(\frac{\omega}{V_{n-1}} h_{n-1}\right) + B_{n-1} \sin\left(\frac{\omega}{V_{n-1}} h_{n-1}\right) = A_n \quad (7)$$

(6)と(7)から

$$A_n = A_{n-1} \cos\left(\frac{\omega}{V_{n-1}} h_{n-1}\right) + B_{n-1} \sin\left(\frac{\omega}{V_{n-1}} h_{n-1}\right)$$

$$B_n = \frac{\rho_{n-1}}{\rho_n} \frac{V_{n-1}}{V_n} \left\{ -A_{n-1} \sin\left(\frac{\omega}{V_{n-1}} h_{n-1}\right) + B_{n-1} \cos\left(\frac{\omega}{V_{n-1}} h_{n-1}\right) \right\} \quad (8)$$

ここで

$$\frac{\omega}{V_{n-1}} h_{n-1} = \lambda_{n-1}, \quad \frac{\rho_{n-1}}{\rho_n} \frac{V_{n-1}}{V_n} = r_{n-1} \quad (9)$$

と置き行列表示すれば

$$\begin{bmatrix} A_n \\ B_n \end{bmatrix} = T_{n-1} \begin{bmatrix} A_{n-1} \\ B_{n-1} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$T_{n-1} = \begin{bmatrix} \cos \lambda_{n-1} & \sin \lambda_{n-1} \\ -r_{n-1} \sin \lambda_{n-1} & r_{n-1} \cos \lambda_{n-1} \end{bmatrix}$$

同様にして

$$\begin{bmatrix} A_n \\ B_n \end{bmatrix} = T_{N-1} \cdot T_{N-2} \cdots T_1 \begin{bmatrix} A_1 \\ B_1 \end{bmatrix}$$

(5)より $B_1 = 0$ であるから

$$\begin{bmatrix} A_N \\ B_N \end{bmatrix} = T_{N-1} \cdot T_{N-2} \cdots T_1 \begin{bmatrix} A_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

ここで

$$T_{N-1} \cdot T_{N-2} \cdots T_1 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{1N} \\ S_{2N} \end{bmatrix} \quad (11)$$

とおけば

$$\begin{bmatrix} A_N \\ B_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{1N} \\ S_{2N} \end{bmatrix} A_1 \quad (12)$$

となる。ここで N 層における波は

$$\begin{aligned} \bar{u}_N \exp(i\omega t) &= (A_N \cos \lambda_N + B_N \sin \lambda_N) \exp(i\omega t) \\ &= \left\{ \frac{1}{2} (A_N + \frac{B_N}{i}) \exp(i\lambda_N) + \frac{1}{2} (A_N - \frac{B_N}{i}) \exp(-i\lambda_N) \right\} \exp(i\omega t) \quad (13) \end{aligned}$$

と表わされる。基盤入射波は N 層の進行波, 即ち(13)の第1項であり, この波を $\sin \omega t$ とすれば $\lambda = 0$ になり

$$\frac{1}{2} (A_N + \frac{B_N}{i}) \exp(i\omega t) = i \exp(i\omega t)$$

即ち

$$A_N - iB_N = -2i$$

となる。したがって(12)より

$$(S_{1N} - iS_{2N}) A_1 = -2i$$

となる。 A_1 の絶対値は

$$|A_1| = \left| \frac{-2i}{S_{1N} - iS_{2N}} \right| = \frac{2}{|S_{2N} + iS_{1N}|} \quad (14)$$

となるが, 基盤入射波の振幅は1であったから, これは第一層, 即ち地表面での増巾率にほかならない。

各成層の層厚 h_n , S 波速度 V_n , 密度 ρ_n が与えられた時(9)より λ_n , r_n を求め, (10)に代入すれば T_N が求まる。各 T_N について(11)を計算することにより S_{1N} , S_{2N} が求まり, (14)に代入すれば角周波数 ω についての増巾度 $R = |A_1|$ を得ることができる。

3. 入力データ

計算を実行するにあたっては, 基盤面をどこにとるか問題である。ここでいう基盤面とは想定している地震波入力に対して一様に振るまうような, 空間的広がりを持つ面のことであり, 通常用いられる基盤面とはやや異なることを注意しておかねばならない。本研究においては, そのような面(地震基盤面と呼ぶ)として, 熱田層上面と第三紀(矢田川累層)上面を考えた。

(a) 熱田層上面を地震基盤面とする場合

各層は S 波速度が急変する深度を境界面として2~7つに区分した。各層内の密度は, 各深度で実測値がある場合にはその層内での平均値を用い, 実測値がない

表1 計算に用いた各層の密度;D, S波速度;V, 層厚;H

解析地点	熱田層上面を地震基盤面とした場合							第三紀層上面を地震基盤面とした場合									
	1	2	3	4	5	6	7	A	N	G ₁	D ₃	G ₂	D ₃ '	G ₃	D ₂	D ₁	P
1 港区 いろは公園	D	1.75	1.97					1.75		1.89	2.18	1.95	2.28	2.06	2.05	2.09	
	V	100	241					100		271	380	342	420	357	381	537	
	H	10.4	∞					10.4		47.7	2.3	29.5	9.1	27.3	47.7	∞	
2 港区 土古公園	D	1.90	1.79	1.71	1.94			1.82		1.88	2.18	1.95	2.28	2.06	2.05	2.08	
	V	120	150	200	222			138		258	395	348	425	361	383	535	
	H	4.0	4.0	0.43	∞			8.43		53.6	6.8	31.1	5.0	31.8	35.0	∞	
3 中川区 正色小学校	D	1.77	1.77	1.60	1.60	1.84		1.66		1.91	2.18	1.95	2.28	2.06	2.05	2.20	
	V	108	156	127	194	310		145		299	417	367	450	380	401	559	
	H	4.0	6.0	10.0	5.6	∞		25.6		61.4	6.8	47.7	9.1	27.3	47.7	∞	
4 南区 道徳公園	D	1.60	2.00					1.60		1.91	2.18	1.95	2.28	2.06	2.05	2.05	
	V	97	213					97		273	382	329	394	335	367	527	
	H	6.6	∞					7.2		43.8	4.5	6.8	4.5	20.5	68.2	∞	
5 熱田区 大宝小学校	D	1.76	1.89					1.76		1.88	2.18	1.95	2.28	2.06	2.05	2.08	
	V	152	206					152		263	382	336	411	346	373	534	
	H	2.6	∞					2.6		46.4	9.1	20.5	9.1	9.1	72.7	∞	
6 中川区 荒子小学校	D	1.90	1.88					1.90		1.93	2.18	1.95	2.28	2.06	2.05	2.18	
	V	144	198					144		275	391	343	420	362	393	556	
	H	8.0	∞					8.0		50.0	6.8	22.7	15.9	40.9	72.7	∞	
7 港区 南陽中学校	D	1.36	1.55	1.41	1.47	1.90		1.46		1.86	2.18	1.95	2.28	2.06	2.05	2.34	
	V	99	141	94	196	281		158		283	427	371	446	387	417	583	
	H	5.6	7.5	4.8	20.1	∞		38.0		63.6	6.8	31.8	9.1	77.0	65.9	∞	
8 中川区 豊正中学校	D	1.81	1.89	1.84				1.85		1.91	2.18	1.95	2.28	2.06	2.05	2.18	
	V	132	250	520				174		277	401	346	415	365	399	557	
	H	9.8	5.4	∞				15.2		50.0	13.6	4.5	9.1	84.1	43.2	∞	
9 南区 白水小学校	D	1.81	2.05					1.79		2.15				1.92		2.15	
	V	136	219					124		247				274		571	
	H	5.0	∞					6.0		12.3				12.6		∞	
10 海部郡 飛島中学校	D	1.75	1.67	1.80	2.02	2.08		1.74		1.95	2.18	1.95	2.28	2.06	2.05	2.25	
	V	96	116	180	302	302		145		302	418	364	441	384	413	569	
	H	2.6	19.6	15.2	1.1	∞		38.5		47.7	11.4	27.3	6.8	100.0	20.5	∞	
11 中川区 千音寺小学校	D	1.69	1.66	1.82	1.91			1.69		1.95	2.18	1.95	2.28	2.06	2.05	2.25	
	V	143	120	227	256			149		310	397	346	421	372	408	568	
	H	12.2	6.2	3.3	∞			21.7		40.9	9.1	20.5	9.1	102.3	45.5	∞	
12 中川区 日比津小学校	D	1.95	1.76	1.94	1.84			1.85		1.94	2.18	1.95	2.28	2.06	2.05	2.10	
	V	109	186	263	263			140		254	263	395	352	436	386	539	
	H	9.3	6.7	4.0	∞			15.5		4.5	40.9	9.1	40.9	18.2	13.6	36.4	
13 瑞穂区 津賀田中学校	D									2.02					2.05	1.92	
	V									220					327	489	
	H									34.1					61.4	∞	
14 港区 高木小学校	D	1.73	2.04	2.25	1.75	1.88		2.00		1.84	2.18	1.78	2.28	2.06	2.05	2.14	
	V	90	130	90	200	203		128		282	355	340	419	362	391	549	
	H	2.8	3.2	1.7	2.35	∞		10.05		50.55	5.83	22.7	9.1	52.3	50.0	∞	
15 海部郡 十四山公園	D	1.80	1.82	1.80	2.07	2.22	2.24	1.81		2.01	2.25	2.18	1.95	2.28	2.06	2.05	2.39
	V	90	130	170	220	320	400	137		220	336	368	444	388	471	529	422
	H	5.8	21.3	8.2	13.1	14.6	4.1	37.0		11.0	19.0	44.0	29.0	48.2	9.7	38.5	79.7
16 港区 九番町団地	D	1.33	1.46					1.33		1.65	2.17	1.90	2.28	2.06	2.09	2.07	
	V	120	218					120		243	430	331	440	439	484	532	
	H	4.8	∞					4.8		43.1	13.7	15.8	9.0	14.1	64.8	∞	

17	港区築地町	D	1.72	1.83	1.92	2.15	1.79	19.4	1.83	2.18	2.01	2.28	2.06	2.09	2.08
		V	115	160	240	300	239	197	277	369	477	418	355	380	535
		H	6.0	7.0	9.0	3.45	∞	25.45	34.3	3.8	26.5	4.5	29.5	45.5	∞
18	北区中丸団地	D	1.73	1.86	2.07	2.06		1.83	2.08	2.18	1.95	2.28	2.06		1.88
		V	160	180	360	428		1.67	344	359	319	389	331		474
		H	2.35	5.65	9.0	∞		9.18	7.95	13.1	13.6	11.4	9.1		13.6
19	中村区 駅前ターミナル	D	1.91	1.92				1.90	1.90	2.18		2.06	2.05	2.10	
		V	180	199				183	264	480		343	370	540	
		H	6.1	∞				5.5	37.2	25.0		45.5	68.2	∞	
20	中区 広小路電タビル	D							1.97	2.18		2.06	2.05	1.92	
		V							299	530		326	348	488	
		H							37.0	18.2		20.5	18.2	∞	
21	中区 日本生命ビル	D							1.92	2.18		2.06	2.05	1.92	
		V							314	403		326	350	490	
		H							36.1	18.2		22.7	20.5	∞	
22	中村区 明治生命ビル	D	1.71	1.97				1.71	2.02	2.18	2.18	2.06	2.05	2.02	
		V	200	292				200	355	600	369	332	367	521	
		H	2.18	∞				2.18	31.34	6.48	16.22	36.4	52.3	∞	
23	中村区 住友生命ビル	D						1.77*	1.92	2.18		2.06	2.05	2.05	
		V						120	198	373		334	371	529	
		H						2.0	31.8	22.7		40.9	61.4	∞	
24	昭和区 名古屋市外電話局	D							1.93			2.06		1.80	
		V							260			478		400	
		H							22.3			15.7		∞	
25	港区 国際展示場	D	1.47	1.50	1.65	1.87	1.83	1.58**1.83***	1.92	1.95	2.28	2.05	2.05	2.06	
		V	43	63	139	204	156	74	175	271	356	428	375	529	
		H	5.0	4.3	3.2	5.8	9.2	12.5	15.0	63.6	11.4	9.1	47.7	∞	
26	港区 金城埠頭	D	1.73	1.93				1.73	1.93	2.10				1.96	
		V	150	250				150	255	477				480	
		H	37.0	∞				37.1	20.8	8.45				∞	
27	東海市 南一區	D	1.77	2.18				1.77	2.18					2.21	
		V	130	194				130	194					240	
		H	19.5	∞				19.5	2.4					∞	
28	東海市 新日鉄高炉地区	D						1.86	1.81					1.89	
		V						140	140					418	
		H						10.5	1.65					∞	
29	緑区 大高町中部電力	D						1.92						2.00	
		V						150						377	
		H						6.4						∞	
30	中区 三ノ丸	D	1.71	1.98				1.71	1.98	2.18	2.06	2.05	1.93		
		V	180	195				180	270	555	330	352	494		
		H	1.75	∞				1.8	38.5	18.2	22.7	20.5	∞		
31	東区 大幸団地	D	2.09	1.92	1.87	1.88		2.02	1.99					1.91	
		V	270	260	500	384		270	308					384	
		H	8.0	6.0	2.4	∞		3.5	12.9					∞	
32	名東区 藤森	D						1.71						1.85	
		V						144						200	
		H						3.9						5.8	
33	北区 水草団地	D	1.93	1.72	1.90	2.08	1.93	1.85	2.08	1.97	1.95	2.28	2.06	1.85	
		V	80	95	175	320	320	142	309	320	464	307	378	319	
		H	1.7	2.2	6.65	3.7	∞	10.25	4.0	5.2	13.6	11.4	6.8	1.4	

1 ~ 7は層の番号, A: 南陽層 N: 濃尾層 G1: 第一疎層 D3: 熱田層 G2: 第二疎層 D5: 熱田層 G3: 第三疎層 D6: 後八事期層

D1: 八事唐山層 E: 矢田川累層 *表上 **しゅんせつ土 ***南陽層

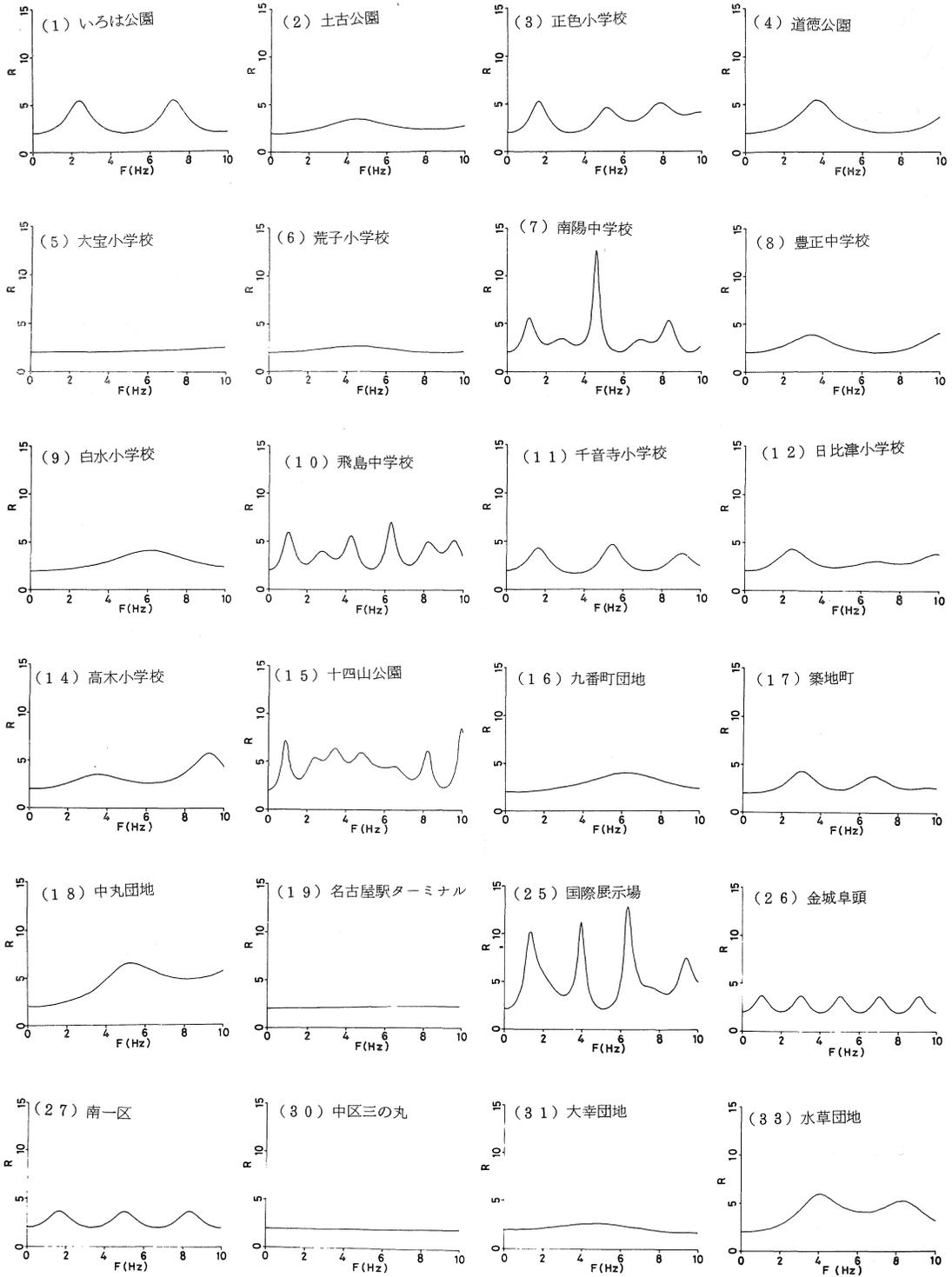
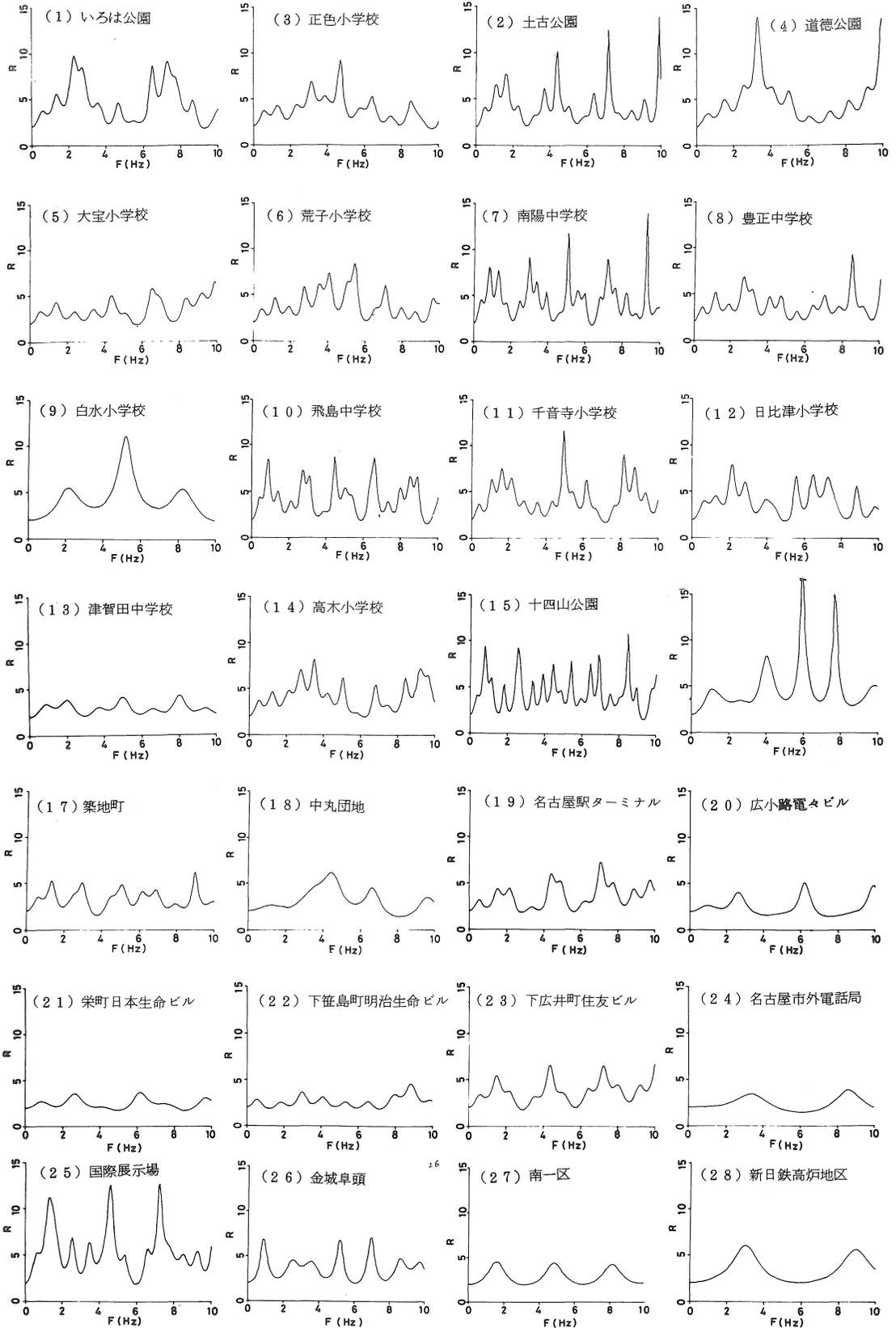


図2 熱田層上面を地震基盤面にした時の周波数一増巾度曲線



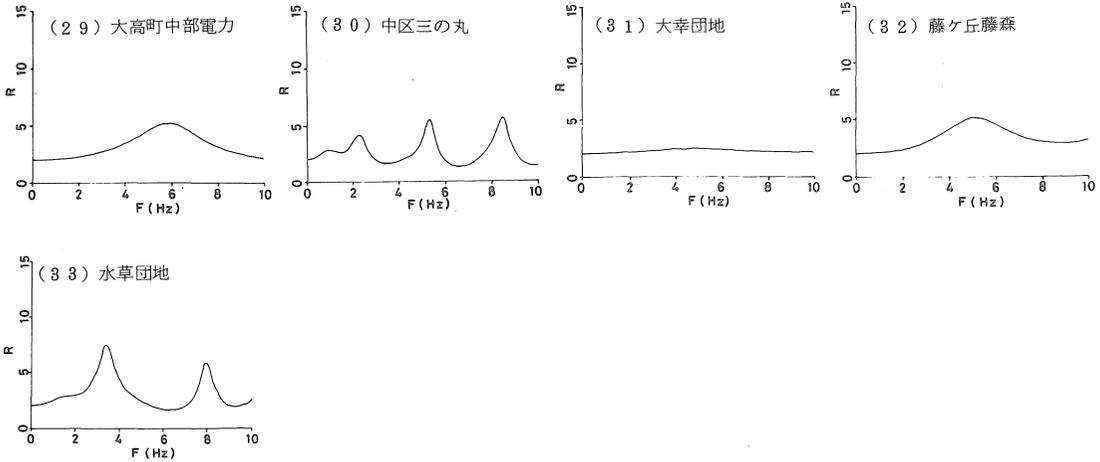


図3 第三紀層上面を地震基盤面とした時の周波数一増巾度曲線

表2 地質別密度

地質区分	沖積層	第一礫層	熱田層
砂	1.93	1.88	1.97
シルト・砂質シルト	1.71	1.84	1.85
砂質粘土・粘土質シルト			
粘土・シルト質粘土	1.60		1.78
粘土質砂・シルト質砂	1.81		1.93
砂 礫		2.06	2.13
粘土(シルト)質砂礫			1.92
礫 混 砂		1.95	1.95
しゅんせつ土	1.58		

場合には表2の値を用いた。基盤のS波速度および密度は熱田層上面下10mまでの平均値を用いた。

(b) 第三紀層上面を地震基盤とする場合

全てのボーリング調査深度が第三紀層まで達しているわけではないので、名古屋地盤¹²⁾、濃尾平野地層断面図¹³⁾を参考にして、地質別に層区分を行なった。各層でのS波速度は実測値があればその平均値とし、層の途中の深さまでしかない場合には、途中までの平均値を用いた。¹⁴⁾全く実測値がない場合には次式を用いてS波速度を計算した。

$$V = 106H^{0.16} p_i q_i$$

ここでHは深度であり、 p_i はその深度での地質年代が沖積層、洪積層あるいは第三紀であればそれぞれ1.00, 1.48, 2.08である。 q_i はその深度での地質が粘土、シルト、砂、砂礫であればそれぞれ1.00, 0.95, 0.98, 1.27

である。密度は実測値があればS波速度を決めた方法と同じ方法を用い、実測値がない場合、熱田層までは表1を用い、それ以深は九番町団地、大高中電総合技研における実測値を用いた。

計算に用いた密度、S波速度、層厚の値を各層別に表1に示す。ただし基盤の層厚は無限大としてあるので表には示されていない。

4. 計算結果

計算は0.1Hzごとに0~10Hzまで行ない各周波数での増巾度を求めた。得られた周波数一増巾度曲線を図2、図3に示す。

熱田層上面を地震基盤面とした場合、増巾度曲線は一般になめらかであり、ピークの数少ない。大宝小、荒子小、名古屋駅ターミナル、中区三ノ丸の各地点は二層構造であり、しかも第一層は薄く、第二層即ち基盤と第一層とのS波速度、密度は類似している。このような場合には、ほとんどピークは現れられていない。土古公園、道徳公園、豊正中、白水小、日比津小、高木小、九番町団地、中丸団地、大幸団地の曲線には弱いピークが唯一つのみみられる。一方、軟層弱が厚く堆積している飛島中、国際展示場、金城埠頭、十四山公園の曲線にはいくつものピークがみられる。

第三紀上面を地震基盤面とした場合には、層数が多く、かつ各層のS波速度、密度が異なるために、一般に曲線は複雑になる。しかし、熱田層上面を地震基盤面とした場合と第一近次的には類似していると言える。

表3に、周波数一増巾度曲線から得られた最大増巾度 R_1 とその時の周期 T_1 (以後、卓越周期と呼ぶ)、最も低周波のピーク (一次ピークと呼ぶ) の増巾度 R_f と周期 T_f (一次ピーク周期と呼ぶ)、更に基盤のS波速度

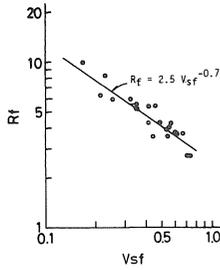


図4 熱田層上面を地震基盤面として求めた一次ピーク増巾度と速度比との関係

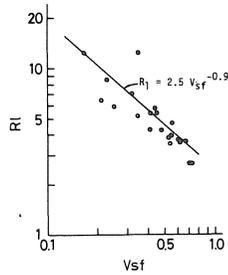


図5 熱田層上面を地震基盤面として求めた最大増巾度と速度比との関係

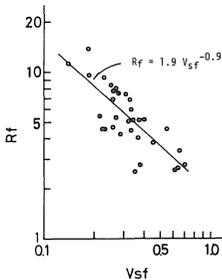


図6 第三紀層上面を地震基盤面として求めた一次ピーク増巾度と速度比との関係

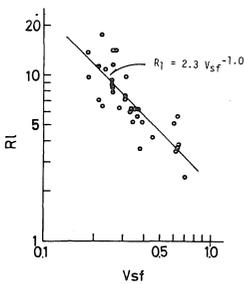


図7 第三紀層上面を地震基盤面として求めた最大増巾度と速度比との関係

に対する地表でのS波速度の比 V_{sf} を示す。

図4, 図5, 図6, 図7はS波速度の比 V_{sf} と増巾度 R_1, R_f との関係を示したもので、両者の間には次のような関係があることがわかる。

- 熱田層上面を地震基盤とした場合
 - { 一次ピークの増巾度 $= 2.5 \times V_{sf}^{-0.7}$
 - { 最大増巾度 $= 2.5 \times V_{sf}^{-0.9}$
- 第三紀層上面を地震基盤面とした場合
 - { 一次ピークの増巾度 $= 1.9 \times V_{sf}^{-0.9}$
 - { 最大増巾度 $= 2.3 \times V_{sf}^{-1.0}$

速度比 V_{sf} は地表でのS波速度が地震基盤のS波速度に比べて相対的にどの程度遅いかを示すパラメーターであるが、上式は、地震基盤に比べて、地表のS波速度が遅

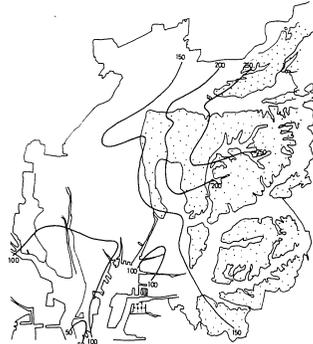


図8 地表でのS波速度分布 (単位;m/sec)

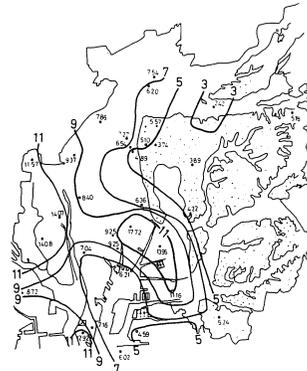


図9 第三紀層上面を地震基盤面として求めた最大増巾度の分布

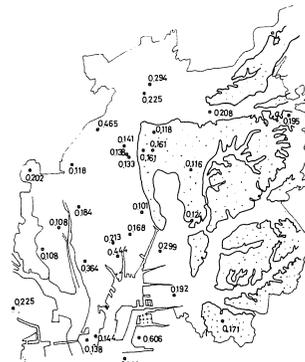


表3 各地点での速度比, 増巾度および周期

解析地点	熱田層上面を地震基盤面とした場合				第三紀層上面を地震基盤面とした場合					
	速度比 V_{sf}	最大増巾度 R_1	卓越周期 T_1 (秒)	一次増巾度 R_f	一次周期 T_f (秒)	速度比 V_{sf}	最大増巾度 R_1	卓越周期 T_1 (秒)	一次増巾度 R_f	一次周期 T_f (秒)
1 港区いろは公園	0.415	5.43		5.43	0.417	0.186	9.70	0.444	9.70	0.444
2 港区土古公園	0.540	3.54		3.54	0.225	0.258	9.25	0.213	6.86	0.317
3 中川区正色小学校	0.348	5.27	0.225	5.27	0.606	0.259	14.07	0.101	7.74	0.625
4 南区道徳公園	0.458	5.46	0.272	5.46	0.272	0.184	13.95	0.299	13.95	0.299
5 熱田区大宝小学校	0.738					0.285	6.36	0.101	4.30	0.714
6 中川区荒子小学校	0.727	2.72		2.72	0.222	0.259	8.40	0.184	4.68	0.833
7 港区南陽中学校	0.353	12.70	0.217	5.61	0.870	0.271	14.08	0.108	8.07	1.250
8 中川区豊正中学校	0.528	3.87	0.294	3.87	0.294	0.312	9.37	0.118	5.16	0.833
9 南区飛水小学校	0.502	4.12	0.161	4.12	0.161	0.217	11.16	0.192	5.54	0.465
10 海部郡飛島中学校	0.318	7.10	0.157	6.00	0.952	0.255	8.72	0.225	8.45	1.111
11 中川区千音寺小学校	0.556	4.70	0.183	4.31	0.606	0.262	11.57	0.202	7.57	0.606
12 中川区日比津小学校	0.414	4.33	0.408	4.33	0.408	0.260	7.86	0.465	4.86	0.465
13 瑞穂区津賀田小学校						0.450	4.22	0.124	3.80	0.488
14 港区高木小学校	0.443	5.77	0.108	3.57	0.278	0.233	7.04	0.364	4.62	0.800
15 海部郡十四山公園	0.225	8.65	0.101	7.28	1.111	0.231	10.99	0.118	9.45	1.250
16 港区九番町団地	0.551	3.98	0.160	3.98	0.160	0.226	17.72	0.168	4.65	0.870
17 港区築地町	0.481	4.31	0.328	4.31	0.328	0.368	6.21	0.111	5.25	0.741
18 北区中丸団地	0.211	6.52	0.189	6.52	0.189	0.352	6.20	0.225	2.56	0.833
19 中川区駅前ターミナル	0.905					0.339	7.27	0.141	4.54	0.465
20 中区広小路電タビル						0.613	5.10	0.161	2.61	1.053
21 中区日本生命ビル						0.641	3.74	0.161	2.70	1.111
22 中川区明治生命ビル						0.384	3.62	0.333	2.84	1.667
23 中川区住友生命ビル						0.227	6.54	0.138	5.45	0.667
24 昭和区名古屋市外電話局						0.650	3.89	0.116	3.39	0.299
25 港区国際展示場	0.165	12.60	0.156	10.00	0.800	0.140	12.92	0.138	11.30	0.769
26 港区金城阜頭	0.600	3.76		3.76	1.000	0.313	7.16	0.144	6.86	1.111
27 東海市南一區	0.669	3.69		3.69	0.606	0.542	4.59	0.606	4.59	0.606
28 東海市新日鉄高浜地区						0.335	6.02	0.333	6.02	0.333
29 緑区大高町中部電力						0.398	5.24	0.171	5.24	0.171
30 中区三ノ丸	0.929					0.364	5.57	0.118	4.13	0.444
31 東区大幸団地	0.703	2.70	0.214	2.70	0.214	0.703	2.42	0.208	2.42	0.208
32 名東区藤森地						0.343	5.18	0.194	5.18	0.194
33 北区水草団地	0.250	5.98	0.247	5.98	0.247	0.310	7.45	0.29	7.45	0.294

ければそれだけ増巾度は大きくなることを示している。

図9は得られた最大増巾度を名古屋地盤上にプロットし、等増巾度線を記入したものである。東部丘陵地では増巾度が小さく、西部では増巾度が大きいことがわかる。南部ではやや複雑なパターンとなり、熱田、港、南区にかけて増巾度が11と大きい地域が存在する。また庄内川西部でも増巾度は11と大きい。図9と、地表でのS波速度の分布を示した図8とを比較すると両者の間に類似したパターンがみられることは注目される。

図10は卓越周期の分布図である。市中心部から東にかけて広がる洪積台地上では周期は0.1秒~0.2秒と短い。北部から西部、南部にかけては0.2秒~0.6秒とやや長くなるが0.1秒程度の周期となる地点もあり複雑なパターンを示している。

5. 震害との関係

図11, 図12はそれぞれ1891年濃尾地震, 1944年東南海地震における住家被害率と増巾度(第三紀層上面を地震基盤面として求めた最大増巾度), その卓越周期との関係を示したものである。ここで住家被害率とは全壊住家数に半壊住家数の半数を加え全住家数で割ったパーセントである。濃尾地震における被害率は当時の町村別に求めている。東南海地震における被害率は当時の連区(現在の学区に近い)別に求めたものであり, 2, 3の連区において特に被害率が大きく, このために図中の点にややばらつきがみられる。両図より増巾度が大きくなると被害率も大きくなることがわかる。前節で述べたように, 速度比が小さければ増巾度は大きい。従って, 基盤に比べて表層のS波速度が小さいような地盤では増巾度

は大きく, また被害率も大きくなると言える。卓越周期に関しては, 点数が少なくはっきりとした傾向はみにくい, 0.2~0.5秒程度の周期の時被害率は大きくなると言えよう。

参考文献

- 1) H. Shibata and R. Hara : "Some Comment on the Randomness of the Strong Earthquake", Proceedings of Japan Earthquake Engineering Symposium, 1969
- 2) J. Penzin, C. Scheffey and R. Parmelee : "Seismic Analysis of Bridge on Long Piles" A. S. C. E., Vol. 90, 1964
- 3) H. B. Seed : "The Influence of Local Soil Conditions on Earthquake Damage" VII, International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1969
- 4) I. M. Idriss and H. B. Seed : "Response of Earth Banks during Earthquake" A. S. C. E., Vol. 93, 1967
- 5) 武藤清, 内田一義, 高瀬啓元 : "建築基礎周辺の応力と変形" 日本建築学会論文報告集, 1967
- 6) G. Nishimura and T. Takayama : "Stationary Vibrations due to an Obliquely Incident Transversal Wave of Harmonic Type of the Surface-Layer of an Elastic Earth's Crust" B. E. R. I., Vol. 17, 1939
- 7) K. Kanai : "Relation between the Nature of Surface Layer and the Amplitude of Earthquake Motion," B. E. R. I., Vol. 30, 1952
- 8) K. Kanai and S. Yoshizawa : "Relation between the Amplitude of Earthquake Motion and the Nature of Surface Layer. IV (The Case of Finite Train)" B. E. R. I., Vol. 34, 1956
- 9) 小林啓美, 鏡味洋史 : "波動理論を用いた成層構造の地震応答の数値解法について" 日本地震工学会シンポジウム, 1966
- 10) N. A. Haskell : "The Dispersion of Surface Wave on Multi-Layered Media", Bull. Seis. Soc. Ame., Vol. 43, 1953
- 11) I. Herrera and E. Rosenblueth : "Response Spectrum on Stratified Soil" Proc. III. W. C. E. E., Vol. 1, 1965
- 12) 名古屋地盤図, コロナ社
- 13) 桑原 徹 : "濃尾傾動盆地の発生と地下水系の第四系" 地盤沈下の実態とその対策に関する調査研究報告書, 愛知県地盤沈下研究会, 昭和49年度
- 14) 飯田汲事, 正木和明, 楓 重彦 : 名古屋地盤の振動特性に関する研究, 愛工大紀要, Vol. 13B, 1978

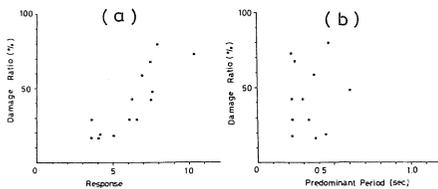


図11 濃尾地震における住家被害率と
(a) 最大増巾度
(b) 卓越周期との関係

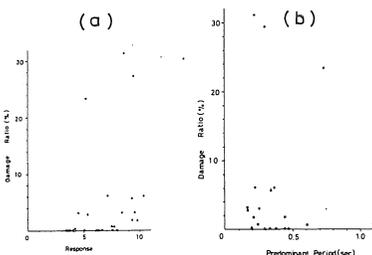


図12 東南海地震における住家被害率と
(a) 最大増巾度
(b) 卓越周期との関係