

名古屋市域におけるS波速度分布および 地盤の振動特性

飯田 汲事, 正木 和明, 楓 重彦

S-Wave Velocity Distribution and Ground
Vibration Characteristics in Nagoya Area

Kumizi IIDA, Kazuaki MASAKI
and Sigehiko KAEDE

昭和48年より名古屋市域の地層内のS波速度測定を実施してきた。測定場所は昭和51年までに31ヶ所あり、名古屋市全体およびその付近に分布している。名古屋市域は北東部に洪積層が分布し比較的安定した地盤をもち、南西部に進むほど沖積層が厚くなり軟弱地盤となっている。この地盤特性が今までの測定したS波速度の結果とよく対応しており、厳密には同一深度同一地層内においても速度の変化がみられた。これにより地盤の振動特性は場所によりどのように違うか推定されるので、本結果は地震時震害の地域性を解明するうえの基礎資料として役立つものと思われる。

1. はじめに

地震時の災害が、構造物の破壊の条件と地盤の振動特性に起因していることは、現在の地震工学において既知な点である。前者は構造物の耐震性および火災等による危険度を含み、後者は構造物の土台である基礎地盤の弾性的性質および地震波に対する挙動反応を知ることにより解明できるものと思われる。地盤特性の評価には、地盤を弾性体モデルとして、地震波P波、S波の測定を行うことにより、弾性力学的性質を導き出し、実際の地震時にいかなる振動特性を示すかを究明する方法がある。この論文では名古屋市域の地盤をモデル対象として、弾性波速度測定並びに密度測定等^{1) 2) 3)}を実施し、その結果からの地盤評価と、地盤特性を表わす物性量についての相互関係も考察してみた。

2. 測定場所

名古屋市内地盤各層中の弾性波測定の場所を図1に示し、調査地と調査深度を表1に一覧した。P波、S波速度の測定は、昭和48年から行われ、昭和48年には港区において2ヶ所、昭和49年には南区、中川区、熱田区それぞれにおいて1ヶ所ずつ計3ヶ所、昭和50年には港区、南区、中川区、中村区それぞれにおいて1ヶ所ずつ計4

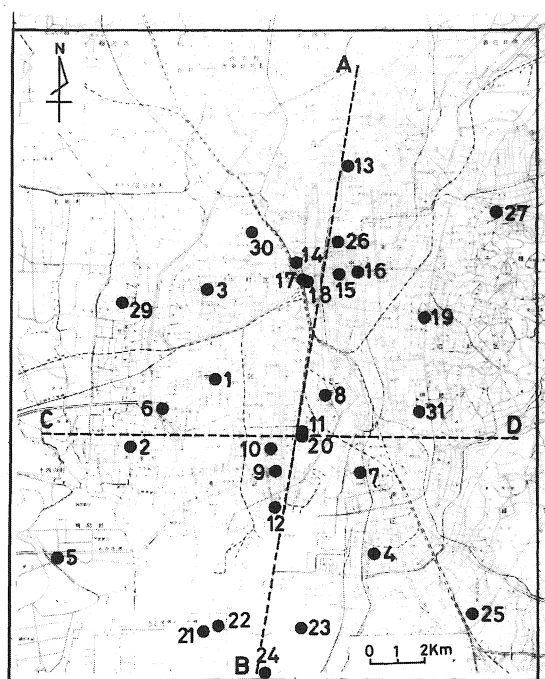


図1 P波、S波速度測定地点分布図（数字は測定地点で表1の図中番号と同じ、A、B、C、Dは図5の断面線）

ヶ所、および海部郡飛島村において1ヶ所、昭和51年に

は中川区, 中村区, 瑞穂区それぞれにおいて1ヶ所づつ計3ヶ所の測定が実施され, 合計13ヶ所となった。(図

表1 P波, S波を測定した地点一覧表

図中番号	調査地	調査深度 (m)
1	中川区中郷町荒子小学校体育館北	51
2	港区南陽町南陽中学校校庭西端	51
3	中村区向島町豊正中学校裏門	51
4	南区松下町白水小学校校庭東端	38
5	海部郡飛島村飛島中学校テニスコート	65
6	中川区下之一色正色小学校南西隅	52
7	南区道德新町道德公園北中央部	52
8	熱田区大宝町大宝小学校校庭北東隅	52
9	港区いろは町いろは公園西側中央	60
10	港区東土古町土古公園中央東寄	54
11	港区九番町1丁目九番町団地	150
12	港区築地町	90
13	北区中丸町中丸団地	30
14	中村区笹島町名古屋駅前ターミナルビル	50
15	中村区広小路通り広小路電々ビル	50
16	中区栄町日本生命ビル	45
17	中村区下笹島町明治生命ビル	40
18	中村区下広井町住友ビル	45
19	昭和区阿由地通り名古屋市外電話局	50
20	港区九番町1丁目九番町団地	40
21	港区13号地金城ふ頭国際展示場	60
22	港区13号地環状2号線No.1地点	70
23	東海市南1区環状2号線No.5地点	30
24	東海市新日本製鉄高炉地区	50
25	緑区大高町中部電力総合技術研究所	100
26	中区三の丸1丁目4番	50
27	東区大幸町大幸団地	50
28	知多市新地知多火力発電所	40
29	中川区千音寺小学校分校校庭南端	50
30	中村区日比津小学校西入口	26
31	瑞穂区津賀田中学校校庭北端	32

中番号で1~10, 29~31である。)また他の調査機関により測定された場所が18ヶ所あり, 総計31ヶ所の資料をもとに総合的に地盤特性を考察した。

3. 測定方法

(1) P, S 検層

P, S 検層孔を作成し, 地表より2m間隔で標準貫入試験を実施しN値を求め, 得られた資料をもとに密度を求めた。調査に用いた測定計器は地中地震計とハンデイスାଇスマシヨグラフィである。

測定方法の概略図を図2に示す。孔中感震器をボーリング孔に加圧装置により固着させる。地表に波動源をもち, それを感震器で受震し, ハンデイスାଇスマシヨグラフィで

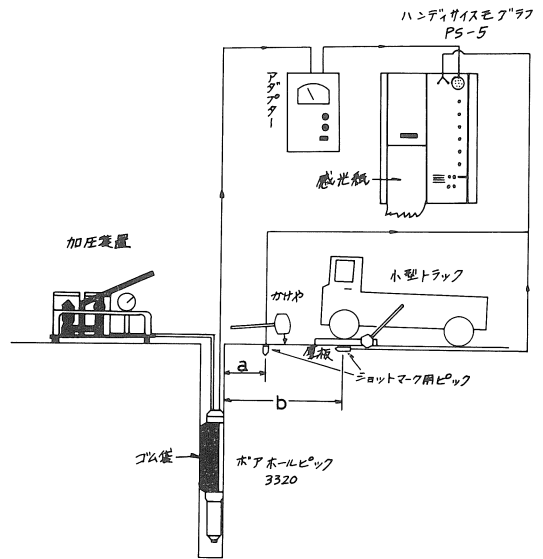


図2 速度測定法概要見取図

増巾して記録する。記録用紙には乾式プロマイドペーパーを用いた。P波を発生する際には, 検層孔近くの地表をかけやで垂直にたたく方法をとる, S波の震源には「板たたき法」を利用した。これは検層孔に対して直角に地面に密着させ, 左右からかけやで足場板を強打することにより, S波(SH波)を発生させようとするものである。足場板と地面とを密着させるためにトラックの前輪をのせ, この板と地面の接触面に小型感震器を設定し, 震源における震動発生シグナル(ショットマーク)を受振し, 孔中感震器に伝達された震動の走時を計測する手段とした。P波震源のショットマークは, かけやでたたく地表近くに埋設した小型感震器によって得た。孔中感震器は深度2mごとに移動し固着させ, P波, S波の記録をとり, また孔中感震器の設置方向を方位計によって測定した。

(2) 波動記録とその解析

P波, S波の波動記録の1例として図3に示す。これは中川区千音寺小学校(図中番号29)における波動記録で, 左がP波, 右がS波である。この図で点線で示した波形は, 板たたき法における左右両方から強打したときの一方を示すもので, S波の走時を読み取る際に精度を上げることができる。この記録よりP波, S波の初動

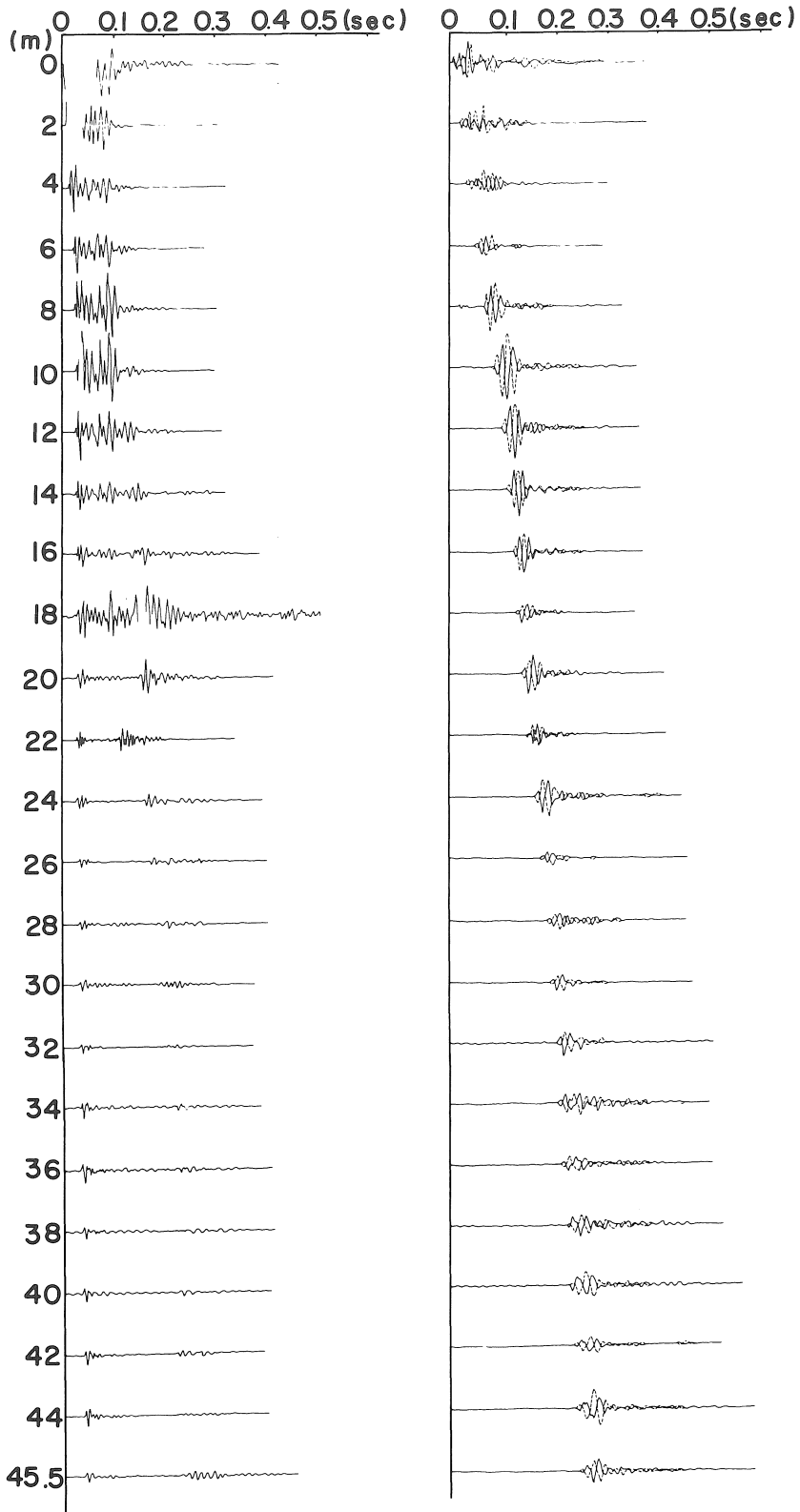


図3 P波, S波の波動記録の1例(中川区千音寺小学校)

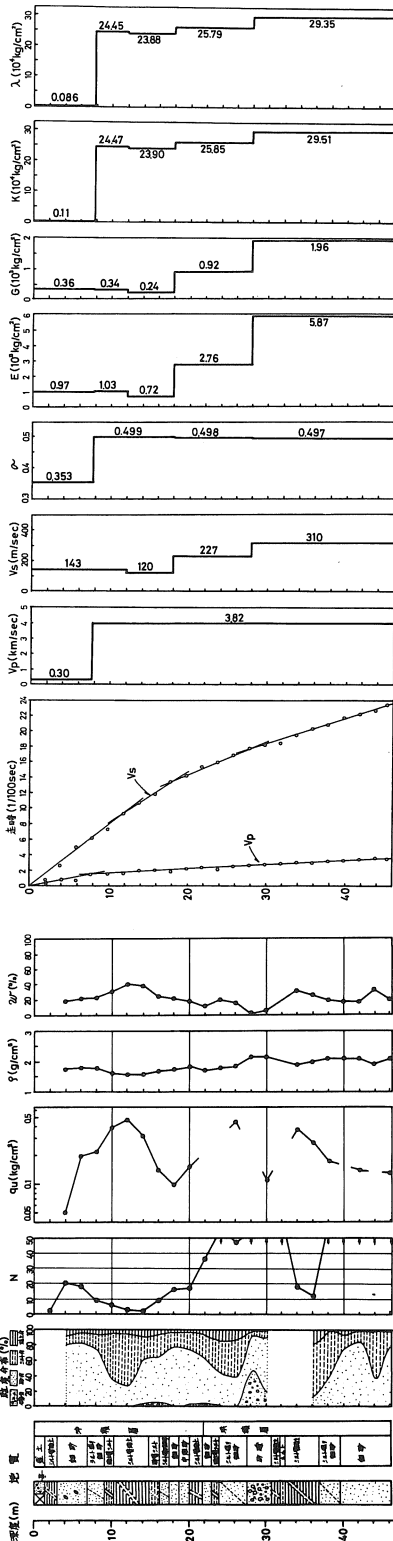


図4 地質柱状図, 粒度分布図, N 値, 一軸圧縮強さ, 密度, 含水比, P 波, S 波走時および速度, 各弾性定数の深度分布の 1 例 (中川区千音寺小学校)

からの位相到達時間を読み取ることにより走時 t が求められる。次に 2 m 毎の測定深度 h と震源までの震源距離 $\sqrt{b^2 + h^2}$ (b は図 2 中) を計算し, それに対応する初等走時に補正を加え, 垂直走時 $t \cdot h / \sqrt{b^2 + h^2}$ を求める。その垂直走時と測定深度から走時曲線を作成し, その勾配から P 波, S 波の伝播速度を求める。速度層境界は走時曲線の折り曲がりによって決定した。中川区千音寺小学校における走時曲線は図 4 のようになり, P 波速度 V_p , S 波速度 V_s および密度 ρ の深度分布を示し, 他に土質柱状図 (地下水位を記す), 粒度分布図, N 値, 一軸圧縮強さ q_u , 含水比 W および各弾性定数も併せて載せた。弾性定数は V_p, V_s および密度 ρ によって次式から求めることができる。

$$\sigma = \frac{k-2}{2(k-1)} \quad k = \left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2$$

$$G = \rho V_s^2$$

$$E = \rho (3V_p^2 - 4V_s^2) V_s^2 / (V_p^2 - V_s^2) = 2G(1 + \sigma)$$

$$K = \rho \left(V_p^2 - \frac{3}{4} V_s^2 \right)$$

$$\lambda = \rho (V_p^2 - 2V_s^2)$$

ここで σ はポアソン比, G は剛性率, E はヤング率, K は体積弾性率, λ はラメの定数である。

4. 測定結果および地盤評価

測定地点 31ヶ所の P 波, S 波速度, 密度, N 値および各弾性定数を深度別に表わしたのが表 2, 3 である。ここで表 2 には, 密度の測定より 5 つの弾性定数まで求められている場所が示され, 表 3 はポアソン比のみが求まっている場所である。表中の図中番号は図 1 に示すものと同じである。

名古屋市地盤を総合的に判断するため, 各地点の深度別, 地質別 S 波速度分布を図 5 に示した。上図 A B (図 1 参照) は, 名古屋港西埠頭に通ずる東臨港線に沿うほぼ南北方向の名古屋市縦断面に, 下図 C D (図 1 参照) は港区九番町を東西に横切る横断面にそれぞれ投影した S 波速度分布図である。この図からわかるように比較的接近した地点においても, S 波速度の値はかなり変化している。同一深度, 同一地層内においても地域的に速度の変化がみられるので, 地盤の振動特性も場所的にちがうことが推定される。また南北方向における速度変化をみると北から南へ進むにつれて, S 波速度の値が同一深度の値が同一深度においても小さくなっている。これは名古屋市南部伊勢湾臨界地域が北部の地域に比べて軟弱であることを示すものであるが, 北部地域においても地表下浅い 10 m くらいのところでは, 場所により南部地域における S 波速度分布と大差ない所もある。地域の東西

表2 各測定地点における深度別P波, S波速度および弾性定数(その1)

図中番号	深度 (m)	P波速度 V _p (m/sec)	S波速度 V _s (m/sec)	密度 ρ (g/cm ³)	N 値	ポアソン比 σ	ヤング率 E (10 ⁹ kg/cm ²)	剛性率 G (10 ³ kg/cm ²)	体積弾性率 K (10 ⁴ kg/cm ²)	ラムの定数 λ (10 ⁴ kg/cm ²)
1	0~3.6	610	144	—	15~25	0.470	—	—	—	—
	3.6~12.4	900	144	1.91	8~12	0.487	1.21	0.41	1.53	1.50
	12.4~16.0	900	241	1.86	11~40	0.462	3.23	1.10	1.40	1.33
	16.0~26.4	2290	241	1.95	8~50	0.494	3.46	1.16	10.27	10.19
	26.4~32.6	2290	333	1.96	35~40	0.489	6.62	2.22	10.18	10.03
	32.6~46.0	1290	333	1.97	35~40	0.464	6.54	2.23	3.07	2.92
	46.0~50.0	1290	257	1.70	14~50	0.479	3.39	1.15	2.75	2.67
2	0~5.6	1000	99	1.36	11~17	0.495	0.42	0.14	1.39	1.36
	5.6~13.1	1000	141	1.55	2~17	0.490	0.93	0.31	1.54	1.52
	13.1~17.9	1000	94	1.42	1~2	0.496	0.39	0.13	1.43	1.42
	17.9~33.1	1000	196	1.42	1~3	0.480	1.63	0.55	1.38	1.34
	33.1~40.1	1480	196	1.58	2~33	0.491	1.85	0.62	3.43	3.39
	40.1~50.0	1480	303	1.84	5~55	0.478	5.11	1.73	3.86	3.74
3	0~9.8	700	132	1.81	7~81	0.482	0.95	0.32	0.86	0.84
	9.8~16.8	700	250	1.87	4~50	0.427	3.40	1.20	0.77	0.70
	16.8~25.7	1710	250	1.92	12~50	0.489	3.65	1.22	5.57	5.48
	25.7~42.0	1710	302	1.89	14~50	0.484	5.22	1.76	5.40	5.29
	42.0~46.0	1710	248	1.97	11~50	0.489	3.69	1.24	5.71	5.63
4	0~6.4	1050	136	1.79	2~8	0.492	1.00	0.34	1.98	1.96
	6.4~10.5	1050	188	(1.97)	11~19	0.484	(2.11)	(0.71)	(2.20)	(2.15)
	10.5~20.0	1050	274	2.15	16~50	0.464	4.83	1.65	2.24	2.13
	20.0~38.0	2080	274	2.01	9~50	0.491	4.60	1.54	8.68	8.58
5	0~2.6	630	96	1.80	3	0.488	0.51	0.17	0.70	0.69
	2.6~5.0	630	116	1.80	20	0.482	0.74	0.25	0.69	0.67
	5.0~10.3	1240	116	1.84	4~8	0.496	0.75	0.25	3.12	3.10
	10.3~22.2	650	116	1.62	2~5	0.484	0.65	0.22	0.68	0.66
	22.2~37.4	1580	180	1.80	2~23	0.493	1.79	0.60	2.49	2.47
	37.4~6.5	1580	302	1.95	11~50	0.481	5.36	1.81	4.70	4.58
11	0~6	330	120	1.4	4~12	0.425	0.59	0.21	0.13	0.11
	6~12	1800	250	1.7	10~50	0.490	3.23	1.08	5.48	5.40
	12~18	1800	190	1.5	5~50	0.494	1.65	0.55	4.89	4.85
	18~27	1800	260	1.7	5~50	0.489	3.49	1.17	5.46	5.39
	27~33	1400	260	1.7	6~50	0.482	3.48	1.17	3.24	3.17
	33~46	1400	230	1.6	6~17	0.486	2.57	0.86	3.08	3.03
	46~62	2000	430	2.1	12~50	0.476	12.25	4.15	8.04	7.78
	62~70	2000	310	1.8	13~25	0.488	5.25	1.77	7.11	6.99
	70~76	1700	310	1.9	14~50	0.483	5.25	1.77	5.35	5.23

	76~86	1700	440	2.3	50	0.464	13.29	4.54	6.18	5.87
	86~99	1700	440	2.1	49~50	0.464	12.15	4.15	5.64	5.36
	99~100	2500	440	2.0	50	0.488	8.77	2.95	12.23	11.96
	100~115	2500	380	2.2	22~50	0.479	16.60	5.60	13.60	13.38
	115~130	1700	500	2.2	38~50	0.453	16.30	5.60	5.74	5.37
	130~152	2100	500	2.2	29~50	0.470	16.50	5.60	9.15	8.78
24 (No.1)	0~3.0	800	140	1.8	3~8	0.484	1.07	0.36	1.11	1.09
	3.0~12.2	1350	140	1.8	1~6	0.495	1.08	0.36	3.59	3.56
	12.2~20	1350	370	1.9	14~63	0.459	7.7	2.7	3.20	3.02
	20~41.4	1800	555	2.0	50以上	0.447	18.2	6.3	5.73	5.31
	41.4~50	1800	460	2.0	50以上	0.465	12.7	4.3	6.00	5.71
24 (No.2)	0~1.4	360	130	1.8	7	0.425	0.88	0.31	0.96	0.18
	1.4~10.5	1390	130	1.8	2~8	0.496	0.93	0.31	3.86	3.84
	10.5~26	1390	400	1.9	14~50	0.455	9.0	3.1	3.34	3.13
	26~50	1790	540	2.0	50以上	0.449	17.2	5.9	5.59	5.19
25	0~7.5	500	150	1.96	3~29	0.456	1.30	0.44	0.43	0.46
	7.5~11.5	1700	460	2.10	22~75	0.460	13.00	4.40	5.42	5.06
	11.5~20	1700	360	1.89	14~75	0.477	7.20	2.40	5.03	4.98
	20~24	2000	560	1.85	9~100	0.457	19.00	6.40	7.31	6.80
	24~30	2000	380	1.81	15~60	0.481	8.00	2.70	7.12	4.92
	30~75	2000	460	1.79	—	0.472	11.40	3.90	6.85	6.57
	75~100	2000	620	1.88	—	0.447	22.00	7.40	6.71	6.24
26	0~6	490	180	(1.6)	1~18	0.422	1.5	0.53	0.32	0.29
	6~16	490	215	(1.6)	3~32	0.381	2.1	0.75	0.29	0.24
	16~22	1250	290	(1.7)	19~50	0.471	4.3	1.5	2.5	2.4
	22~30	2500	330	(1.7)	32~50	0.493	4.4	1.5	10.7	10.6
	30~40	1700	330	(1.8)	11~50	0.481	5.9	2.0	5.2	5.1
	40~50	2500	555	(2.0)	50以上	0.474	18.5	6.3	11.9	11.5
27	0~4	550	270	2.06	13~17	0.34	4.11	1.53	0.43	0.33
	4~8	1400	270	2.02	14~50	0.48	4.54	1.53	3.77	3.67
	8~14	1400	260	1.92	17~24	0.48	3.92	1.32	3.26	3.17
	14~18	1400	500	1.81	16~44	0.40	13.20	4.62	2.16	1.85
	18~20	1100	210	1.73	24~26	0.46	2.27	0.78	0.95	0.90
	20~22	1100	430	1.94	49~50	0.41	10.30	3.65	1.91	1.66
	22~28	1300	400	2.02	50	0.44	9.48	3.29	2.63	2.41
	28~34	1500	600	1.81	50	0.38	18.33	6.64	2.55	2.10
	34~38	1500	290	1.99	50	0.48	5.05	1.70	4.19	4.08
	38~50	2000	470	2.20	50	0.47	14.58	4.96	8.10	7.77
28	0~5	500	150	1.56	—	0.451	1.04	0.36	0.35	0.33
	5~15	920	100	1.70	2~8	0.494	0.52	0.17	1.45	1.43
	15~23	1300	240	1.88	20~50	0.482	3.28	1.10	3.09	3.02
	23~30	1300	190	1.77	5~20	0.489	1.94	0.65	2.97	2.92
	30~40	1800	330	1.90	20~50	0.483	6.26	2.11	6.00	5.86

29	0~77.8	300	143	1.75	2~20	0.353	0.97	0.36	0.11	0.09
	7.8~12.0	3820	143	1.68	3~9	0.499	1.03	0.34	24.47	24.45
	12.0~18.0	3820	120	1.64	2~16	0.500	0.72	0.24	23.90	23.88
	18.0~28.0	3820	227	1.78	17~68	0.498	2.76	0.92	25.85	25.79
	28.0~46.0	3820	310	2.04	12~100	0.497	5.87	1.96	29.51	29.38
30	0~3.9	430	109	1.79	2~11	0.466	0.62	0.21	0.30	0.29
	3.9~8.0	—	109	2.00	4~15	—	—	0.24	—	—
	8.0~9.3	2400	109	1.93	4~5	0.499	0.69	0.23	11.09	11.07
	9.3~16.0	2400	186	1.76	5~115	0.497	1.83	0.61	10.06	10.02
	16.0~20.0	2400	263	1.93	71~83	0.494	3.97	1.33	10.98	10.85
	20.0~26.1	890	263	—	75	0.452	—	—	—	—
31	0~4.9	610	167	1.97	8~52	0.459	1.60	0.55	0.66	0.62
	4.9~8.0	—	167	1.93	13~32	—	—	0.54	—	—
	8.0~8.9	—	222	2.00	3232	—	—	0.99	—	—
	8.9~13.1	790	222	2.05	17~63	0.457	2.94	1.01	1.14	1.08
	13.1~16.0	790	273	1.84	30~75	0.432	3.92	1.37	0.97	0.87
	16.0~24.0	2750	273	2.02	11~56	0.495	4.51	1.51	15.08	14.98
	24.0~27.0	2750	200	2.22	11~12	0.497	2.66	0.89	16.67	16.61
	27.0~32.0	2750	200	2.17	68~100	0.497	2.60	0.87	13.45	13.39

表3 各測定地点における深度別P波、S波速度および弾性定数（その2）

図中番号	P波速度 V_p		S波速度 V_s		N 値		ポアソン比 σ	
	深度 (m)	速度 (m/sec)	深度 (m)	速度 (m/sec)	深度 (m)	速度 (m/sec)	深度 (m)	速度 (m/sec)
6	0~2	730	0~4	108	0~9	9~21	0~2	0.489
	2~8	2200	4~10	156	9~25	0~5	2~4	0.499
	8~24	1060	10~20	127	25~31	3~19	4~8	0.497
	24~40	2000	20~28	194	31~34	29	8~10	0.489
	40~48	940	28~50	310	34~51	29~50	10~20	0.493
	48~50	2000	20~24	0.482				
			24~28	0.495				
			28~40	0.488				
40~48			0.439					
48~50	0.488							
7	0~2	300	0~8	97	0~6	1~2	0~2	0.442
	2~19	1420	8~13	233	6~21	18~42	2~8	0.498
	19~25	885	13~21	210	21~31	8~12	8~13	0.486
	25~50	1650	21~28	294	31~36	50	13~19	0.499
			28~42	376	36~43	16~28	19~21	0.470
			42~50	214	43~50	37~50	21~25	0.438
			25~28	0.484				
	28~42	0.473						
	42~50	0.491						

8	0~ 3	240	0~ 6	152	0~ 6	8~12	0~ 3	0.165
	3~12	1320	6~13	234	6~11	50	3~ 6	0.493
	12~28	2290	13~22	235	11~15	5~24	6~12	0.484
	28~41	1220	22~28	202	15~29	32~50	12~13	0.495
	41~45	820	28~45	356	29~37	9~14	13~22	0.487
	45~52	2170	45~52	206	37~43	50	22~28	0.496
					43~47	23~29	28~41	0.454
47~52					50	41~45	0.384	
						45~52	0.495	
9	0~10.4	450	0~10.4	100	0~10.4	0~13	0~10.4	0.474
	10.4~12.2	650	10.4~12.2	200	10.4~12.2	38	10.4~12.2	0.448
	12.2~21	1600	12.2~33	250	12.2~33	39~50	12.2~21	0.487
	21~26	1800	33~37	210	33~37	10~12	21~26	0.490
	26~33	1550	37~40	280	37~40	13~17	26~33	0.487
	33~37	1350	40~42	330	40~42	16	33~37	0.488
	37~40	1600	42~47	284	42~47	17~50	37~40	0.484
	40~47	1500	47~52	350	47~52	50以上	40~42	0.475
	47~52	1800	52~56	270	52~56	50以上	42~47	0.482
	52~60	1600	56~60	380	56~60	50以上	47~52	0.480
						52~56	0.485	
						56~60	0.470	
10	8~14	1500	0~ 4	120	0~ 4	3~ 8	0~ 2	0.488
	14~27	1700	4~ 8	150	4~ 8	4~ 8	2~ 4	0.493
	27~35	1400	8~14	200	8~14	19~11	4~ 6	0.494
	35~39	1650	14~20	250	14~20	29~50以上	6~ 8	0.496
	39~46	1350	20~27	300	20~27	29~50以上	8~14	0.491
	46~54	1500	27~35	250	27~35	42~50以上	14~20	0.489
			35~39	280	35~39	24~50以上	20~27	0.484
			39~43	210	39~43	11~12	27~35	0.484
			43~46	250	43~46	11	35~40	0.485
			46~50	280	46~50	9~14	40~42.5	0.488
						42.5~46	0.482	
						46~50	0.482	
						50~54	0.479	
12	0~ 5	330	0~ 6	115	0~ 6	1~ 4	0~ 5	0.431
	5~11	560	6~13	160	6~10	4~15	5~ 6	0.480
	11~35	1480	13~22	240	10~14	2~ 5	6~11	0.456
	35~39	1650	22~27	300	14~27	22~50以上	11~13	0.494
	59~70	1950	27~34	220	27~31	15	13~22	0.487
	70~80	1950	34~44	265	31~33	4 45	22~27	0.479
	80~90	1950	44~50	350	33~39	6~ 8	27~34	0.489
			51~54	255	39~48	28~52	34~35	0.483
			54~62	300	48~56	11~48	35~44	0.487
		62~70	470	56~90	50以上	44~50	0.476	

			70~76 76~90	360 530			50~54 54~59 59~62 62~70 70~76 76~90	0.488 0.483 0.488 0.469 0.482 0.460
13 (No.1)	0~6 6~10 10~26	660 450 1100	0~2 2~8 8~20 20~26	90 180 360 450	0~2 2~8 8~20 20~26	5以下 2~20 15~50 38~	0~4.5 4.5~8.7 8.7~20 20~30	0.49 0.49 0.44 0.40
13 (No.2)	0~9.5 9.5~30	460 1400	0~2.7 2.7~10.3 10.3~16.7 16.7~21.5 21.5~30	90 200 361 224 445	0~2.7 2.7~10.3 10.3~16.7 16.7~21.5 21.5~30	2~7 5~25 35~50 5~35 7~50	0~2.7 2.7~9.6 9.6~16.7 16.7~21.5 21.5~30	0.48 0.38 0.46 0.49 0.44
14 (No.1)	0~8.8 8.8~50	300 1700	0~15.2 15.2~40.8 40.8~50	190 275 480	0~15.2 15.2~40.8 40.8~50	3~27 7~50 10~167	0~8.8 8.8~15.2 15.2~40.8 40.8~50	0.17 0.49 0.49 0.49
14 (No.2)	0~7.5 7.5~50	320 1650	0~14.2 14.2~42.2 42.2~50	180 270 480	0~14.2 14.2~42.2 42.2~50	4~31 7~68 8~188	0~7.5 7.5~14.2 14.2~42.2 42.2~50	0.27 0.49 0.48 0.45
14 (No.3)	0~6.2 6.2~50	350 1600	0~12.5 12.5~40.8 40.8~50	190 280 470	0~12.5 12.5~40.8 40.8~50	2~50 10~50以上 11~50以上	0~6.2 6.2~12.5 12.5~40.8 40.8~50	0.29 0.49 0.48 0.45
15	0~6 6~18 18~50	330 550 1900	0~4 4~16 16~30 30~36 36~50	160 260 370 260 530	0~4 4~16 16~30 30~36 30~50	4~14 7~29 6~88 8~17 16~500	0~4 4~17 17~30 30~36 36~50	0.35 0.36 0.48 0.49 0.46
16	0~4 4~12 12~21 21~26 26~41 41~45	900 1300 1700 1600 1650 2000	0~4 4~12 12~21 21~26 26~41 41~45	200 300 350 310 340 480			0~4 4~12 12~21 21~26 26~41 41~45	0.478 0.472 0.477 0.480 0.480 0.469

17	0~ 3	600	0~ 3	100			0~ 3	0.438
	3~12	1000	3~27	300			3~12	0.451
	12~16	1400	27~40	600			12~16	0.478
	16~21	800					16~21	0.418
	21~27	2000					21~27	0.488
	27~39	1300					27~39	0.365
	39~40	2100					39~	0.456
18	0~ 4	230	0~ 4	120			0~ 4	0.350
	4~6.6	650	4~6.6	150			4~6.6	0.470
	6.6~14	1400	6.6~14	170			6.6~14	0.492
	14~18	1700	14~18	190			14~18	0.493
	18~20	1300	18~20	180			18~20	0.498
	20~24	1950	20~24	230			20~24	0.492
	24~28.4	1700	24~28.4	180			24~28.4	0.494
	28.4~32	1500	28.4~32	250			28.4~32	0.485
	32~36	1900	32~36	370			32~36	0.480
	36~40	1400	36~40	340			36~40	0.469
40~	2100	40~	420			40~	0.490	
19	0~10	700	0~24	260	0~14	5~50	0~10	0.42
	10~36	1400	24~38	510		14~50以上	10~24	0.48
	36~50	2000	38~50	400		12~50以上	24~37	0.42
							37~50	0.48
20	0~ 3	300	0~13	140	0~13	2~30	0~ 3	0.361
	3~29	1450	13~40	280	13~40	8~150	3~13	1.447
	29~40	—					13~29	0.380
							29~40	—
21	0~15	1580	0~ 5	43	0~ 5	0	0~30	0.49
	15~23.5	1350	5~ 9	63	5~ 9	0	30~40	0.48
	23.5~33	1850	9~12.5	139	9~12.5	0~ 2	40~50	0.47
	33~60	1600	12.5~18.3	204	12.5~18.3	2	50~60	0.49
			18.3~29.5	156	18.3~29.5	2~10		
			29.5~42	286	29.5~42	8~50以上		
			42~45	192	42~45	7~15		
			45~52	400	45~52	10~50以上		
		52~60	192	52~60	10~50以上			
22	0~40	1400	0~38	150	0~38	0~14	0~38	0.494
	40~70	1600	38~60	260	38~60	10~188	38~60	0.487
			60~70	480	60~70	54~375	60~70	0.451
23	0~25	1400	0~20	130	0~20	0~12	0~20	0.449
			20~25	240	20~25	36~54	20~25	0.485

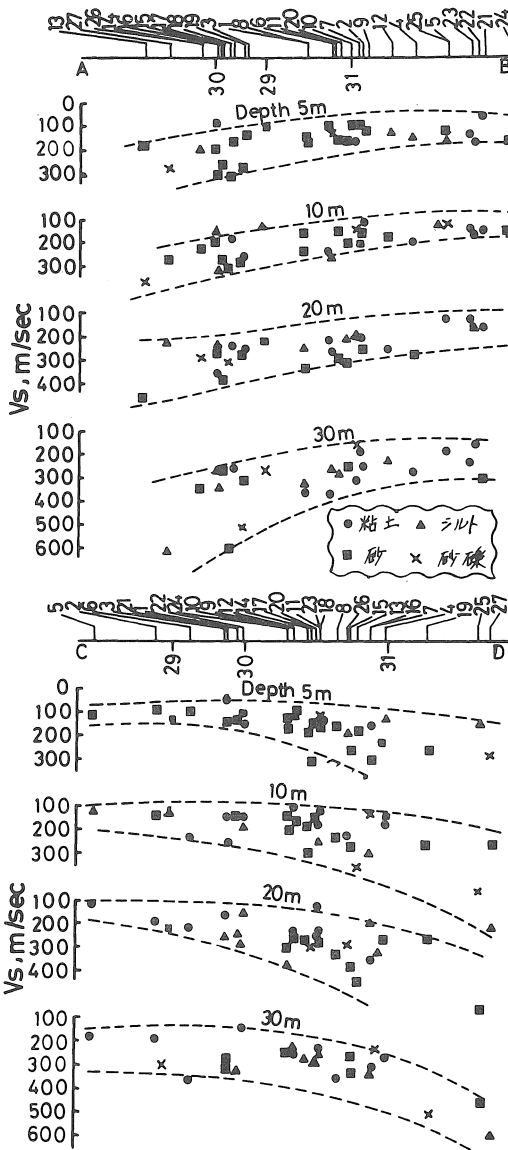


図5 深度別S波速度分布の地域性
(横軸の番号, 断面A B, C Dは図1と同じ)

方向にみた場合のS波速度の分布も同様な傾向にある。これは濃尾平野南部の東西方向の地質断面図(図6)にもみられるように名古屋市域においても沖積層が西に進むほど厚く発達しているもので、若い地層が表面に厚く地盤の弾性定数も小さくなっている。例えばNo.2地点の南陽中学校において、ヤング率が沖積層では1000kg/cm²前後であるのが、洪積層になると5110kg/cm²と急増しそのちがいをよく示している。また図5は粘土, シルト, 砂, 砂礫と地質別に分類してある。地中30mまでは砂分

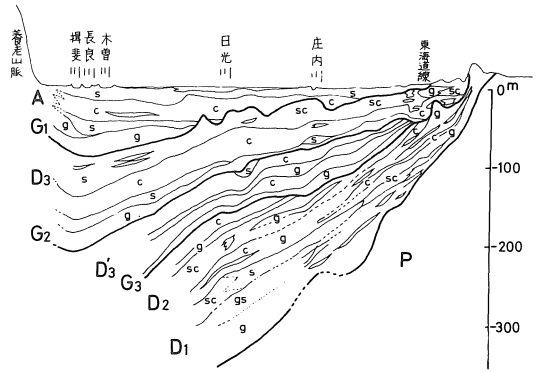


図6 濃尾平野南部東西断面図

- | | |
|----------------------|-----------------------|
| A 南陽層 | G ₁ 第一礫層 |
| D ₃ 熱田層 | D ₃ ' 海部果層 |
| G ₂ 第二礫層 | G ₃ 第三礫層 |
| D ₂ 後八事期層 | D ₁ 八事期層 |
| P 東海層群 | |

が多いことがわかるが,他に顕著な関係は見出せない。結局,名古屋市南部の伊勢湾臨海地域およびそれに近い港区,南区,中川区等の地域では,それにより北部の地域に比べてS波速度は地表浅所で小さく,軟弱性を示していることがわかる。なお各測定地点の深度とS波速度および場所との関係をまとめて表4に示した。

5. 地盤物生量の相互関係

名古屋市内地盤の動力学的特性を求めるため,地盤地質, N値, V_p, V_s等の関係を調べてみた。

(1) 地層別S波速度とN値との関係

S波速度とN値との関係を粘土, シルト, 砂, 砂礫に分類して図に示すと図7のようになる。なお沖積層について区別して示し, 沖積層は黒丸, 洪積層は白丸で図示した。N値については50以上示してあるのは, 50回打げき時の貫入量から30cm貫入に要する打げき数の換算値を示した。

全体的にN値が大きくなるにつれてS波速度も大きくなっている。また洪積層の各地質は, 2本の破線で示した範囲内に分布しているが, 沖積層のS波速度よりも洪積層の速度の方が大きくなっていて, 600m/secを越えることはない。洪積の砂礫層はN値は50付近で多く分布し, V_sも200~500m/secの間にある。沖積の粘土層ではN値が10以下の場合が多く, V_sは300m/sec以下である。洪積シルト層では, N値が5~50, V_sが200~300m/secの間に多く分布している。沖積層の砂は粘土, シルトの沖積層と比較すると, V_sとN値の間にか

表4 S波速度の深度別場所的分布

深度 (m)	地層区分	S波速度 (m/sec)	場所	
0~5	沖積層	95~110	南区道德小学校, 港区南陽中学校, 海部郡飛島中学校, 中川区日比津小学校 港区いろは公園	
		110~120	中川区正色小学校, 港区築地町, 港区九番町, 港区土古公園	
		120~160	熱田区大宝小学校, 知多市新地, 中川区荒子小学校, 中村区豊正中学校, 南区 白水小学校, 緑区大高町, 東海市新日鉄, 中川区千音寺小学校	
		160~200	中区三の丸	
	洪積層	150~200	瑞穂区津賀田中学校	
5~10	沖積層	100~160	中川区正色小学校, 港区築地町, 知多市新地, 中村区豊正中学校, 中川区荒子 小学校, 港区南陽中学校, 東海市新日鉄, 海部郡飛島中学校, 中川区千音寺小 小学校, 中村区日比津小学校, 港区いろは公園, 港区土古公園	
		160~250	熱田区大宝小学校, 南区道德小学校, 港区九番町, 南区白水小学校, 中区三の 丸, 瑞穂区津賀田中学校	
		250~300	東区大幸町	
		400~500	緑区大高町	
10~20	沖積層	100~120	港区南陽中学校, 海部郡飛島中学校, 中川区千音寺小学校	
		120~150	中川区正色小学校	
		150~200	中村区日比津小学校	
		150~250	南区道德小学校, 港区九番町, 港区築地町, 知多市新地, 中川区荒子小学校, 中村区豊正中学校, 港区いろは公園, 港区土古公園	
	洪積層	250~350	熱田区大宝小学校, 南区白水小学校, 東区大幸町, 中区三の丸, 瑞穂区津賀田 中学校	
350~450		緑区大高町, 東海市新日鉄		
20~30	沖積層	150~200	港区南陽中学校, 海部郡飛島中学校	
		150~200	知多市新地, 瑞穂区津賀田中学校	
	洪積層	200~250	熱田区大宝小学校, 中川区正色小学校, 中川区千音寺小学校, 港区いろは公園	
		250~300	港区築地町, 南区道德公園, 港区九番町, 中村区豊正中学校, 中川区荒子小 学校, 南区白水小学校, 中村区日比津小学校, 港区土古公園	
		300~400	緑区大高町, 中区三の丸	
		400~500	東区大幸町	
第三紀層	500~600	東海市新日鉄		
30~40	沖積層	150~200	港区南陽中学校, 海部郡飛島中学校	
		200~250	港区九番町, 港区いろは公園	
	洪積層	250~300	港区築地町, 港区土古公園	
		300~350	中川区正色小学校, 知多市新地, 中川区荒子小学校, 中村区豊正中学校, 中 区三の丸, 中川区千音寺小学校	
		350~400	熱田区大宝小学校, 南区道德小学校	
		450~500	緑区大高町	
		第三紀層	400~450	東区大幸町
			450~550	東海市新日鉄

40~50	洪積層	200~250	熱田区大宝小学校, 南区道徳公園, 中川区豊正中学校
		250~300	中川区荒子小学校, 港区いろは公園, 港区土古公園
		300~350	港区築地町, 中川区正色小学校, 港区南陽中学校, 海部郡飛島中学校, 中川区千音寺小学校, 港区いろは公園
		400~450	港区九番町
	第三紀層	450~500	中区三の丸
		450~500	緑区大高町, 東区大幸町

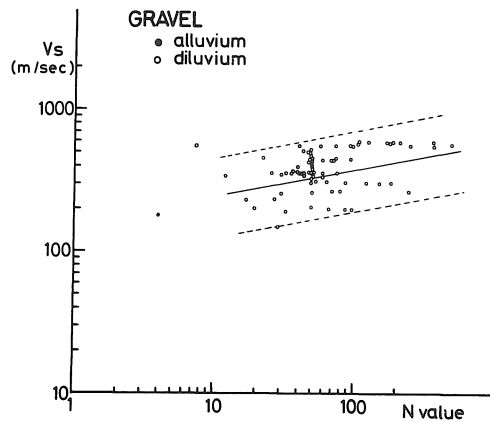
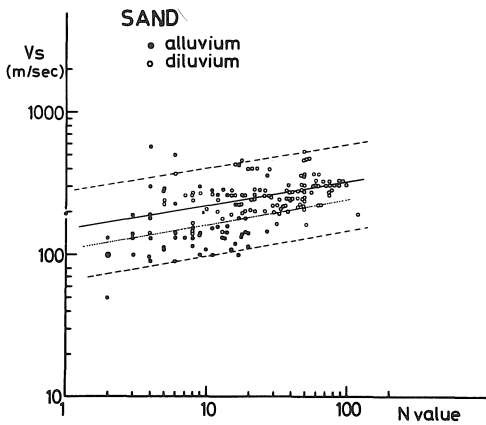
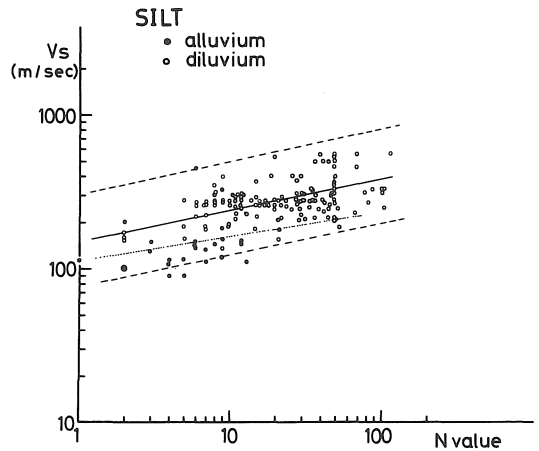
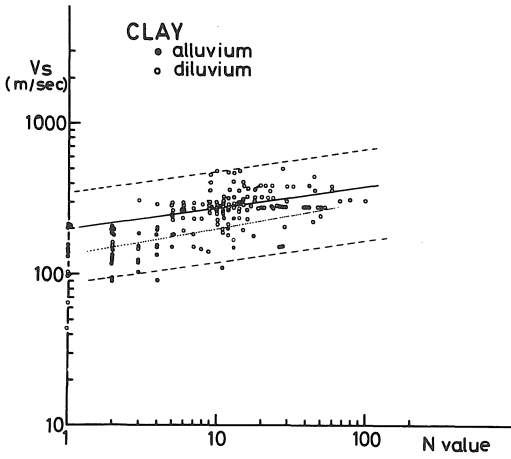


図7 各地質のS波速度とN値との関係

りのばらつきがある。

図7の洪積層のVsとNとの関係を最小二乗法で求めると、実線のようになり次式を得る。

- 粘土層 $V_s = 199N^{0.141}$
- シルト層 $V_s = 151N^{0.200}$
- 砂層 $V_s = 153N^{0.166}$
- 砂礫層 $V_s = 156N^{0.219}$

これらの実験式により、N値がわかればVsを求めるこ

とができる。例えばN値が20の場合、粘土層において $V_s = 300\text{m/sec}$ 、シルト層では $V_s = 270\text{m/sec}$ 、砂層では $V_s = 250\text{m/sec}$ 、砂礫層では $V_s = 280\text{m/sec}$ となる。

沖積層だけを対象とすると、図中点線で示す関係となり式は次のようになる。

- 粘土層 $V_s = 136N^{0.175}$
- シルト層 $V_s = 114N^{0.159}$

砂 層 $V_s = 109N^{0.177}$

以上の関係式より $N=10$ のとき, 粘土層, シルト層, 砂層における V_s はそれぞれ 200m/sec , 160m/sec , 160m/sec となっている. これらの値の平均は, 今井氏⁵⁾が求めた実験式 $V_s = 89.8N^{0.341}$ とほとんど同じである.

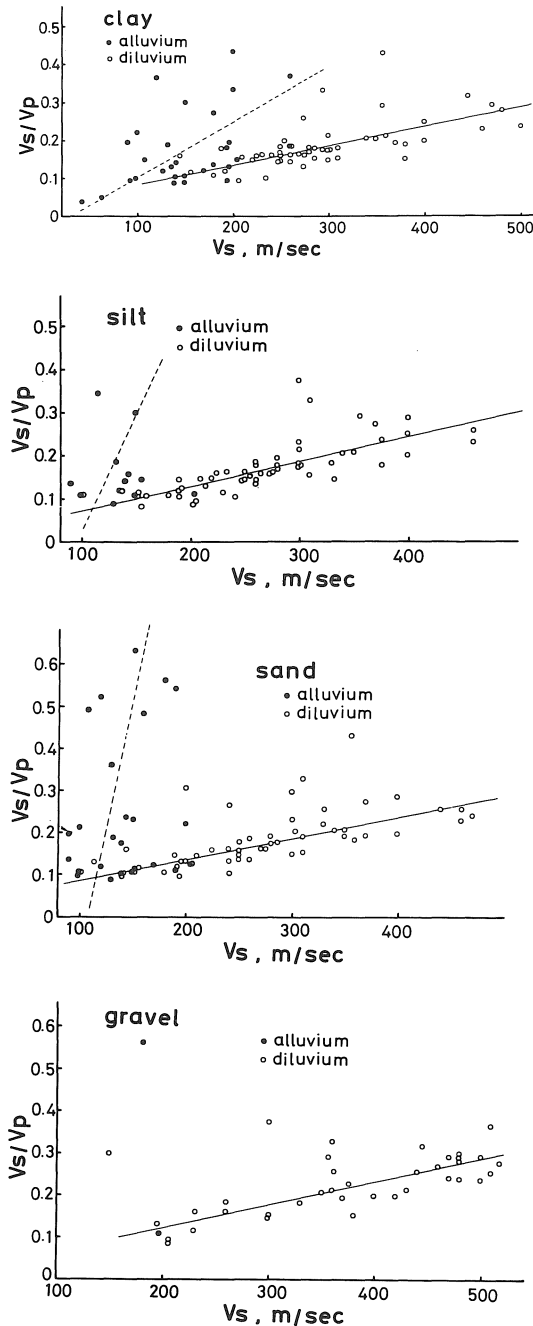


図8 各地質の V_s/V_p と V_s との関係

(2) 地層別 V_s/V_p と V_s との関係

一般に地層が軟弱であるほど V_s が小さく, V_s/V_p は小さいことが期待される. 土質構成の主要素を砂, 粘土, 水の3成分に大別すればこれらの存在比と V_p , V_s は密接な関係がある. 砂分が増すと V_s は増え, 粘土, 水分のいずれが増えても V_s は減少する. V_p も V_s と類似であるが, 含水状態の影響が大きい. 軟弱地盤ほどポアソン比 σ は大きい. ポアソン比は V_s/V_p で表わされ

$$V_s/V_p = \left\{ \frac{(1-2\sigma)}{2(1-\sigma)} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left\{ \frac{3G}{(3K+4G)} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

となる. G は剛性率, K は体積弾性率である. 地盤の軟弱度は V_s/V_p と V_s との関係から知ることができる. この関係を示したのが図8である. 地層は沖積, 洪積に区別し, 地質は粘土, シルト, 砂, 砂礫について示してある.

全体的傾向として V_s は V_s/V_p とともに大きくなり, 沖積層では点が散在しているが, 洪積層ではほぼ直線の変化がみられる. 洪積層の場合に最小二乗法により次のような関係がみられる. 速度の単位は m/sec である.

- 粘土層 $V_s/V_p = 5.1 \times 10^{-4} V_s + 0.04$
- シルト層 $V_s/V_p = 5.7 \times 10^{-4} V_s + 0.02$
- 砂層 $V_s/V_p = 5.5 \times 10^{-4} V_s + 0.02$
- 砂礫層 $V_s/V_p = 5.5 \times 10^{-4} V_s + 0.02$

以上の式をみると洪積層では V_s/V_p と V_s との関係は粘土, シルト, 砂, 砂礫と地質がちがうと若干の相異がみられるが, 直線の勾配はそれほど大差はないといえる.

沖積世の地層の場合は若干点が散在しているが, 洪積世の地層の場合よりも急勾配の直線を引くことができる. 沖積層の場合の破線で示す直線の勾配は精度はよくないが,

- 粘土層 1.5×10^{-3}
- シルト層 5.3×10^{-3}
- 砂層 12.3×10^{-3}

となり粒径の大きいほど勾配が大きいような傾向もみられる.

一般に V_s/V_p と V_s との関係を表わす直線の勾配が急なほど含水に富んだ未固性の軟弱地盤を示し, 地震時のひずみの大きさによって, 地盤の状態や物性が大きく変化する可能性を示していると考えられる.

6. まとめ

S波速度は地震時の地盤の振動特性に関係し, 地盤災害を考察する上に重要であるので, 地盤地質や N 値, P

波などとの関係を調べた。また密度を測定することにより、弾性定数の地層内速度分布を求めて地盤の動力学的性質を総合的に考察した。

名古屋市域は南西部に沖積層の厚い軟弱地帯があり、伊勢湾臨海地域およびそれに近い港区、南区、中川区等の地域では、それより北部の地域に比べてS波速度は地表浅所で小さくなっていることがわかった。また同一深度同一地層内においてもS波速度の値に差異がみられ、地盤の振動特性は地域的に変化があると推定される。

S波速度とN値および V_s/V_p の間には著しい相関があり、洪積層および沖積層に対して次のようになる。ただし沖積層の場合は精度はあまりよくない。

洪積世 粘土層	$V_s=199N^{0.141}$, $V_s/V_p=5.1 \times 10^{-4} V_s + 0.04$
シルト層	$V_s=151N^{0.200}$, $V_s/V_p=5.7 \times 10^{-4} V_s + 0.02$
砂層	$V_s=153N^{0.166}$, $V_s/V_p=5.5 \times 10^{-4} V_s + 0.02$
砂礫層	$V_s=156N^{0.219}$, $V_s/V_p=5.5 \times 10^{-4} V_s + 0.02$
沖積世 粘土層	$V_s=136N^{0.175}$, $V_s/V_p=1.5 \times 10^{-4} V_s + 0.04$
シルト層	$V_s=114N^{0.159}$, $V_s/V_p=5/3 \times 10^{-3} V_s - 0.495$
砂層	$V_s=109N^{0.177}$, $V_s/V_p=1.23 \times 10^{-3} V_s - 1.325$

これらの関係からN値がわかればS波速度の分布の概要を知ることができ、地盤の振動特性を知ることができる。 V_s/V_p と V_s との関係を示す直線の勾配が急なほど固結度の低い軟弱地盤を示し、地震時におけるひずみの大きさ如何によってその物性が大きく変化する可能性を示している。

今後は引地点の既知資料をもとに、その他の地質データにより名古屋市域の総合的な地盤振動特性を探索するため、資料の収集、解析、整理を行っていくつもりである。

終りにのぞみ、この調査の実施にあたり、種々御配慮いただいた名古屋市市民局災害対策課、各測定場所での学校当局および測定、解析に協力された本学土木工学科防災研究室学生に深く感謝します。また既知調査資料の使用許可をいただいた各社⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾に深甚の謝意を表わす次第である。

参考文献

- 飯田汲事：名古屋市地盤各層中のS波速度測定調査報告，名古屋市防災会議地震対策専門委員会，1—58 昭和49年3月
- 飯田汲事，正木和明：名古屋市内地盤各層中のS波速度測定調査報告（第2報），名古屋市防災会議地震対策専門委員会，1—37，昭和50年3月
- 飯田汲事，正木和明：名古屋市内地盤各層中のS波速度測定調査報告（第3報），名古屋市防災会議地震対策専門委員会，1—86，昭和51年3月
- 桑原徹：濃尾傾動盆地の発生と地下水の第4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，156頁，昭和50年3月
- 今井常雄，吉村正義：軟弱地盤における弾性波速度と力学的特性，土と基礎vol. 18, No. 1, 1970年
- 応用地質調査事務所，未発表資料
- 川崎地質調査事務所，未発表資料
- 日本物理探鉱株式会社，未発表資料
- 興和開発株式会社，未発表資料