

人工地震探査によって求めた埼玉県における深い地盤構造と やや長周期地震動の特性について

浜田宏司・金子史夫
山田敏博・土井俊雄

Characteristics of Medium-Long Period Seismic Motion Based on the Results of Seismic Prospecting in Saitama Prefecture

Koji HAMADA, Fumio KANEKO,
Toshihiro YAMADA and Toshio DOI

Abstract

Japan has adopted aseismic design techniques, using lessons from the Great Kanto Earthquake of 1923, which inflicted severe damage to the Tokyo metropolitan area. Aseismic design is aimed at protecting buildings against earthquakes. It is based mainly on short period strong motion (about 0.1 to 1 sec). However, as it becomes more common to erect very large buildings it is no longer possible to ignore the influence of seismic motion in the longer side period range.

This range of about 2 to 20 sec is called "medium-long" seismic motion. It is determined by the source mechanism and magnitude of the earthquake, and with the structure of the earth to depths of kilometers. Medium-long seismic motions are described as Love and Rayleigh waves. In recent years, much research on this medium-long seismic motion has been conducted.

Recently, seismic prospecting has been conducted in Saitama prefecture which adjoins Tokyo. This research provided a picture of the deep underground structure of the region. As shown in Fig. 1, Saitama prefecture has mountains and hills on the west side, and becomes a lowland on the east side. Quaternary sediment is thickly distributed in the east side. This provides a deeply located seismic base (Fig. 2).

Due to the high degree of urbanization in Japan, the menace of earthquakes is now far worse in the past.

This seismic prospecting project used seven traverse lines (Fig. 3). These lines, consisting of 4 shot points and 103 receiving points, extended across the lowland in the east side (Tables 1~5). The data from this seismic prospecting (seismograms and travel times of first arrivals) are given in Fig. 4 and Table 6. Analysis of this data (travel time diagrams, time terms and description of underground structure) is provided in Table 7 and Figs. 5~7.

This study provided information on the structure of the ground up to 4 km below

traverse line. Figs. 8~10 show the information from the geological survey and Figs. 11~12 show the information from the seismic prospecting, which were known previously. Taken together, this information provides a detailed picture of the deep underground structure of the entire lowland and area extending from the east to the north of Saitama prefecture. Figs. 13~15 are upper boundary contour maps covering three strata, Pre-Neogene system, Miura group and Kazusa group.

Next, this information was used to study characteristics of medium-long seismic motions in Saitama prefecture (Table 9). First, dispersion curves of Love and Rayleigh waves were calculated. For reference, transfer functions of S wave were also calculated.

Fig. 16 shows examples of characteristic curves of these waves. We know that the characteristic periods of waves are strongly governed by the physical properties and composition of the surface layers and, in this case, the depth of the upper boundary of Pre-Neogene system. Figs. 17~18 give the characteristics of medium-long period seismic motion, and the distribution of the lowland in east Saitama. From this, the following can be said;

- 1) In the mountains and hills in west Saitama, it is sufficient to ascertain Love and Rayleigh waves of 3~4 sec only.
- 2) In the lowland of east Saitama, it is sufficient to ascertain only Love wave about 10 sec and Rayleigh wave of about 7 sec.

In the above, we have examined the results of a prospecting study conducted in Saitama prefecture. This study has provided detailed information on deep underground structures in the area. In addition, we determined the characteristics of medium-long period seismic motion in the area. These results constitute an adequate evaluation of seismic motion in this range, for use in aseismic design.

1 まえがき

1923年(大正12年)の関東大地震による建造物の甚大な被害は、世界で初めて、建造物の設計における設計震度の考え方を日本にもたらした(久田, 1974)。それ以後、1960年代までの40年間は、耐震設計の考え方は専らより堅固な建造物を作るという方向で進んでいた。しかしながら、1960年代に至って、耐震設計の考え方に大きな変化をもたらされた。一つは、霞ヶ関ビルに代表される高層建築物の建設が始まり、耐震設計に柔軟な構造が認知されたことによるものである。他の一つは、1964年の新潟地震による大型石油タンクのスロッシング現象(土木学会新潟地震災害調査委員会, 1966)や1968年の十勝沖地震による八戸港などにおける2秒程度の周期の強震計による加速度の観測記録(土田ほか, 1969)などである。

これらのことは、それまでの工学的な観点から主な評価対象とされていた短周期(0.1~1秒程度)の地震動だけでは、建造物に対する地震動の影響の評価は十分でなく、より長周期側の地震動を評価することが重要であることを認識させたものである。

1970年代の後半から1980年代の前半にかけて、やや長周期側の周期帯(1~10秒数程度)の地震動の評価方法について、いくつかの提案(Kudo, 1978; 瀬尾, 1981;

Irikura, 1983)がなされており、これらの方法の改良と実用化への努力は現在も続けられている。

一方、つぎつぎに建てられる高層建築物、また、免震構造あるいは制震構造の建築物における耐震性の評価の重要性が増す趨勢において、1981年には、建設省によって提案された「新耐震設計法(案)」の考え方が建築基準法にとり入れられて、60m以上の建造物の評価方法が設定された。さらに、1986年には、(財)日本建築センターの高層建築物構造評定委員会から、“高層建築物の動的解析用地震動について長周期成分を含む地震動波形を使うように”との指針が出された。

この間にも、1983年の日本海中部地震において、震源から100km以上離れている新潟市で、スロッシング現象によって大型石油タンクから重油が流出した。これは周期がおよそ10秒の地震動によって発生したとされている(吉岡ほか, 1984)。また、1985年のメキシコ地震においては、固有周期が2~4秒と想定される5~10階建のビルディングが数多く倒壊して、数千人の死者を出した(応用地質納ほか, 1986)。さらに、1989年のロマプリータ地震においても、震源から約100km離れているサンフランシスコ市内で、周期が1~2秒の地震動が大きな被害を与えている(東京都, 1990)。

一般に、地震動の影響の評価にあたっては、

- ① 震源のメカニズム

② 震源から対象地点の基盤までの深い地盤構造

③ 対象地点付近の表層地盤

が主要な評価対象となる。この報文で述べるやや長周期地震動の影響の評価に関しては、浅い地盤の影響もあるけれども、1~10数秒という周期帯からみると、震源のメカニズムおよび震源から対象地点の基盤までの深い地盤構造の評価がより重要な課題となる。ここで、深い地盤構造とは、一般に建築物の基礎とする地盤を調べる目的で行われるボーリング調査で明らかにされるような50~100m程度の深さよりも深く、地震基盤と呼ばれている深さ数kmまでを指しており、この地震基盤層としては、通常、S波速度が3 km/s (P波速度がおおよそ5~6 km/s)の地層が採用されている(嶋, 1979)。

人工地震探査(屈折法による大規模な地震探査)を用いて深い地盤構造(速度層構造)を求めることは、日本の各地において行われている(Okada et al, 1973; 吉井, 1979; 神奈川県, 1980; 小林ほか, 1980; 長谷川ほか, 1981; 東, 1986; 首都圏基盤構造研究グループ, 1989; 埼玉県, 1990)。しかしながら、地域的に見ると、深い地震基盤層までの地盤構造は、関東地方南部を除いては、十分解明されてはいない。

この報文では、関東地方の中央部に位置する埼玉県の東北部において実施した人工地震探査によって明らかになった深い地盤構造を基本とし、これに既往の研究成果

を合わせて、埼玉県全域の深い地盤構造を推定した。さらに、この調査結果から得られた深い地盤構造を用いて評価された埼玉県におけるやや長周期地震動の特性について述べる。

なお、やや長周期地震動の評価を行う場合には、当然のこととして、震源のメカニズムに関する議論も必要であるが、地震予知関係を含めた震源問題には不確定な要素が多く、一方、やや長周期地震動の評価方法も確立されていない状況にあることから、あえて震源問題には触れず、地盤構造に基づいたやや長周期地震動の特性までとした。

2 探査の概要

2.1 測線の配置

図-1に示すように、埼玉県の西部には山地および丘陵地が多く分布しており、地震基盤となる岩盤は比較的浅いところに存在することが予想され、東部に比べると人口も少ない。これに対して、東部の地域は低地が主体となっており、地震基盤は深く複雑な構造を呈しているものと考えられており、しかも、人口や社会的な機能が集中している。したがって、やや長周期地震動に対する防災という面からは、まず、東部地域の地震基盤の構造を明らかにすることの重要性が考えられた。

- 低地(三角州、後背湿地)
- ▨ 低地(自然堤防)
- ▩ 低地(扇状地)
- ▧ 台地(丘陵を含む)
- ▦ 山地

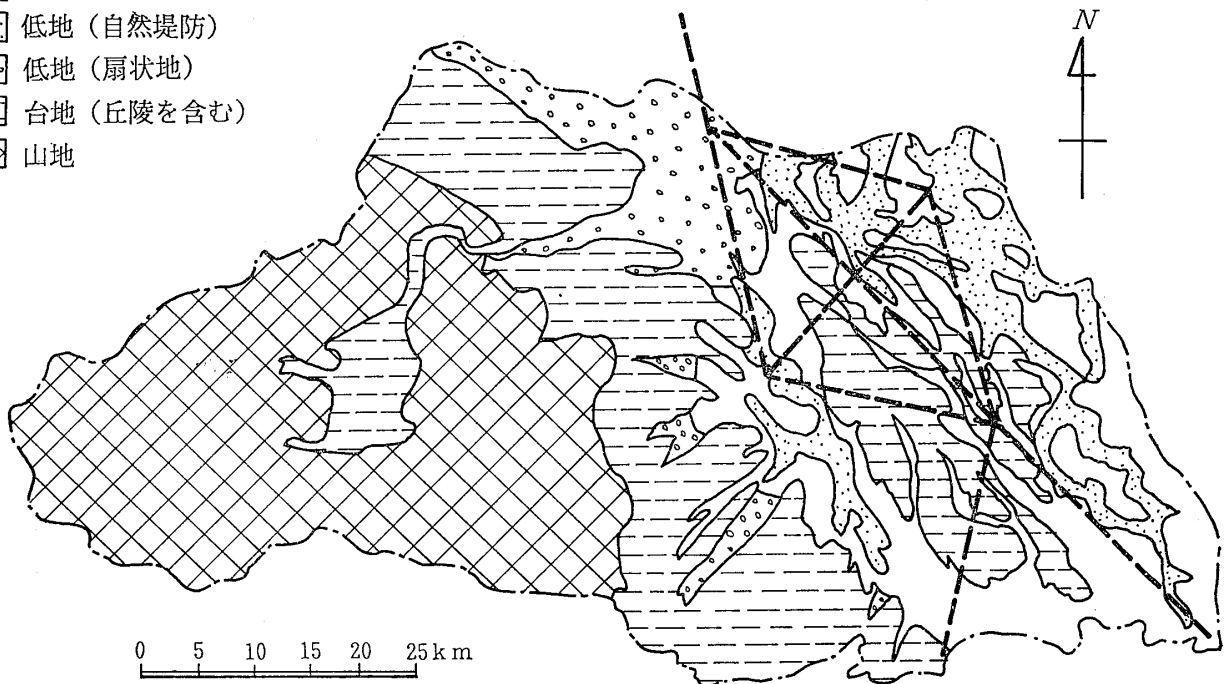
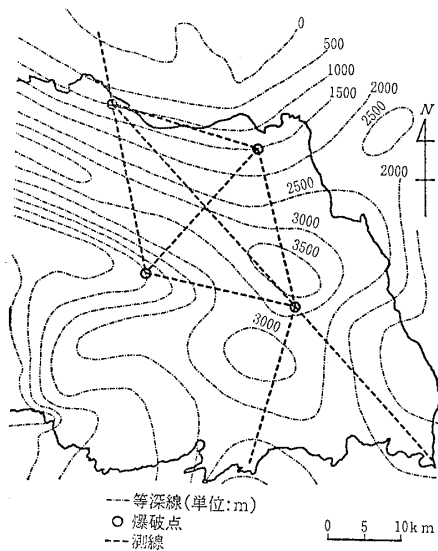


図-1 埼玉県の地形区分図

Fig. 1 Geographical map of Saitama prefecture



図一2 埼玉県東部地域における先新第三系上面の深度
(日本の地質「関東地方」, 1986による)

Fig. 2 Contour of upper boundary of Pre-Neogene system at east side of Saitama prefecture

一方、県の東南部については、過去に人工地震探査が実施されており、これらのデータとの関連性・連続性を考慮して測線を設定することは、地震基盤の地域の構造をより効率的に把握するためには欠くことができない要素である。

したがって、現在までに調査が行われていない県東北部の地震基盤構造を明らかにすることを目的として、図一1に示すように、蓮田市、東松山市、加須市および妻沼町のそれぞれを結ぶ6本の測線（A測線、B測線、C測線、D測線、E測線、およびF測線）を設定した。

図一2は、埼玉県の東部における先新第三系上面の等深度線を示したものである。この図によると、この地域には3000~3500mの深さの盆地状の部分があり、さらに、A測線、D測線、E測線およびF測線の中央部においては、西北西方向に谷状を呈していることが推定されている。この先新第三系の谷地形の形状を確認するために、岩盤が地表近くに現われている群馬県の太田市まで、A測線を延長した。

妻沼町と蓮田市を結ぶF測線については、蓮田市からさらに東南の方向に延長し、深さ3000mにおいて白亜紀の岩盤に達していることが確認されており、さらに、S波速度の資料（太田ほか、1977）が得られている深井戸のある岩槻市（観測点F-10）を通るようにした。また、県の東南部を南北方向に通る“夢の島~吉川測線”（嶋ほか、1976）と三郷市付近で交差させて、探査結果の対応を見ることにした。

上記の測線のほかに、“夢の島~美女木測線”（東、1986）の美女木の爆破点を通るようにG測線を設定し、探査結果の対応を求めるとともに、荒川断層（活断層研究会編、1980）の存在の確認のために、測線を荒川の南の和光市まで延長した。これらの7本の測線の概要は表一1に示す通りで、測線の総延長は214.7kmである。

2・2 爆破点および観測点の設定

爆破点は、SP1、SP2、SP3およびSP4の4点とし、つぎの位置を選定した（図一3参照）。

- ① SP1は蓮田市谷原地先に設けられ、C測線、D測線およびG測線の端部に当たり、F測線の観測点

表一1 測線の概要

Table 1 Outline of traverse lines

測線名	測線長 (km)	測線方向	測線位置	爆破点	観測点名	観測点数
A測線	33.5	北→南	太田~妻沼 妻沼~東松山	SP4 SP4/SP2	A-01~A-05 A-06~A-19	5 14
B測線	20.6	西→東	妻沼~加須	SP4/SP3	B-01~B-09	9
C測線	20.8	西→東	東松山~蓮田	SP2/SP1	C-01~C-12	12
D測線	22.2	北→南	加須~蓮田	SP3/SP1	D-01~D-10	10
E測線	22.8	南西→北東	東松山~加須	SP2/SP3	E-01~E-23	23
F測線	65.3	北西→南東	妻沼~蓮田 蓮田~三郷	SP4/SP1 SP1	F-01~F-08 F-09~F-15	8 7
G測線	29.5	北→南	蓮田~和光	SP1	G-01~G-11	11
計	214.7					99

表一 観測点および爆破点の緯度, 経度および標高

Table 2 Latitudes, longitudes and heights of shot points and receiving points

観測点	緯度(北)	経度(東)	標高	観測点	緯度(北)	経度(東)	標高
A-01	36° 18' 09.7"	139° 22' 25.5"	50 ^m	E-01	36° 00' 48.5"	139° 27' 32.0"	17 ^m
A-02	36 17 06.2	139 22 18.0	42	E-02	36 01 10.7	139 27 48.3	14
A-03	36 16 05.6	139 23 04.9	36	E-03	36 01 31.5	139 27 54.0	14
A-04	36 15 00.0	139 23 21.8	34	E-04	36 01 54.5	139 28 20.2	13
A-05	36 14 02.0	139 23 38.3	30	E-05	36 02 40.7	139 29 31.7	16
A-06	36 12 20.5	139 24 03.1	27	E-06	36 03 08.1	139 30 09.4	22
A-07	36 11 52.5	139 24 08.0	26	E-07	36 03 32.9	139 30 31.0	20
A-08	36 11 13.8	139 24 22.2	27	E-08	36 03 52.3	139 30 52.1	20
A-09	36 10 39.6	139 24 25.0	26	E-09	36 04 18.6	139 31 15.4	18
A-10	36 10 12.6	139 24 37.7	24	E-10	36 04 41.4	139 31 34.0	15
A-11	36 09 38.9	139 24 42.7	24	E-11	36 05 03.3	139 32 00.0	14
A-12	36 08 33.8	139 25 05.3	22	E-12	36 05 28.2	139 32 22.5	14
A-13	36 07 33.6	139 25 16.8	22	E-13	36 05 43.3	139 32 47.5	15
A-14	36 06 34.1	139 25 34.1	25	E-14	36 06 06.5	139 33 02.0	14
A-15	36 05 29.0	139 25 43.8	25	E-15	36 06 26.1	139 33 22.5	15
A-16	36 04 38.0	139 26 03.8	19	E-16	36 06 43.7	139 33 36.5	15
A-17	36 03 47.0	139 26 31.1	20	E-17	36 07 03.3	139 34 09.0	13
A-18	36 02 28.6	139 26 48.9	25	E-18	36 07 24.9	139 34 33.3	13
A-19	36 01 27.8	139 27 05.9	15	E-19	36 07 43.2	139 34 46.5	14
B-01	36 12 26.5	139 25 14.8	26	E-20	36 08 10.8	139 35 15.0	14
B-02	36 12 21.9	139 26 32.0	25	E-21	36 08 32.6	139 35 37.9	13
B-03	36 12 13.8	139 27 56.2	21	E-22	36 09 01.8	139 36 14.2	12
B-04	36 11 38.4	139 29 15.0	20	E-23	36 09 26.3	139 36 35.5	13
B-05	36 11 10.5	139 30 21.5	20	F-01	36 11 17.5	139 25 48.1	24
B-06	36 11 00.0	139 31 27.0	22	F-02	36 09 43.2	139 27 33.2	20
B-07	36 10 38.9	139 33 03.0	17	F-03	36 08 37.6	139 28 47.6	19
B-08	36 10 25.9	139 34 23.0	15	F-04	36 07 06.9	139 30 40.9	16
B-09	36 10 08.6	139 35 38.6	13	F-05	36 04 21.6	139 34 13.8	12
C-01	36 00 12.7	139 28 25.6	13	F-06	36 02 43.2	139 35 48.6	11
C-02	36 00 02.0	139 29 45.0	14	F-07	36 01 23.4	139 37 36.6	14
C-03	35 59 49.4	139 31 07.0	20	F-08	35 59 59.4	139 39 15.0	12
C-04	35 59 38.2	139 32 25.5	15	F-09	35 56 43.4	139 42 40.5	12
C-05	35 59 33.1	139 33 19.2	20	F-10	35 55 33.7	139 44 17.1	8
C-06	35 59 20.5	139 35 23.7	17	F-11	35 53 32.6	139 46 15.6	5
C-07	35 58 59.6	139 36 17.7	16	F-12	35 51 59.2	139 48 07.3	4
C-08	35 58 49.9	139 37 33.1	14	F-13	35 50 22.8	139 49 54.5	3
C-09	35 58 43.3	139 38 08.9	11	F-14	35 48 50.0	139 51 44.8	3
C-10	35 58 38.8	139 38 50.9	9	F-15	35 47 13.4	139 53 32.6	3
C-11	35 58 29.2	139 39 28.6	16	G-01	35 57 16.2	139 40 29.1	8
C-12	35 58 24.9	139 40 12.0	10	G-02	35 56 13.3	139 40 06.7	13
D-01	36 08 46.7	139 37 17.5	13	G-03	35 55 08.8	139 39 48.3	13
D-02	36 07 43.6	139 37 37.2	13	G-04	35 54 05.1	139 39 24.0	13
D-03	36 06 38.1	139 38 02.7	13	G-05	35 53 06.0	139 39 13.7	15
D-04	36 05 42.0	139 38 11.0	12	G-06	35 52 00.8	139 38 45.2	13
D-05	36 04 36.7	139 39 04.1	11	G-07	35 51 16.4	139 38 37.7	7
D-06	36 03 32.1	139 39 04.1	11	G-08	35 50 25.1	139 38 05.2	5
D-07	36 02 37.3	139 39 20.3	11	G-09	35 49 07.2	139 37 51.8	5
D-08	36 01 29.1	139 39 42.8	10	G-10	35 47 37.1	139 37 54.0	6
D-09	36 00 35.1	139 40 16.4	10	G-11	35 46 38.3	139 37 02.0	35
D-10	35 59 24.5	139 40 24.2	16				
SP 1	35 58 17.2	139 40 45.2	9	SP 3	36 09 54.3	139 37 03.2	14
SP 2	36 00 28.4	139 27 13.0	14	SP 4	36 12 56.7	139 23 49.0	27

表-3 爆破に関する諸元

Table 3 Dimension of the explosions

爆 破 点	名 称 場 所	S P 1	S P 2	S P 3	S P 4
		蓮田市 大字黒浜 宇谷原地内	東松山市 大字古凍地内	加須市 大字大越 宇西田町地内	妻沼町 大字ハッ口地内
	緯 度	N 35° 58' 17.2"	N 36° 00' 28.4"	N 36° 09' 54.3"	N 36° 12' 56.7"
	経 度	N139° 40' 45.2"	E139° 27' 13.0"	E139° 37' 03.2"	E139° 23' 49.0"
	標 高	9 m	14 m	14 m	27 m
	爆破時刻	02 ^h 02 ^m 0.568 ^s	02 ^h 12 ^m 0.070 ^s	02 ^h 22 ^m 0.235 ^s	02 ^h 32 ^m 0.435 ^s
	爆 薬 量	300 k g	300 k g	200 k g	300 k g
	爆 薬 長	8.8 m	8.8 m	5.9 m	8.8 m
	爆破孔深さ	60 m	60 m	70 m	60 m
	爆破孔口径	300m/m	300m/m	300m/m	300m/m

表-4 使用した地震計の特性

Table 4 Characteristics of seismometers

種類	固有周波数 (Hz)	感 度 (V/kine)	摘 要
①	1	2.0	勝島製作所
②	4.5	0.42	OYO GEOSPACE
③	28	0.17	OYO GEOSPACE

表-5 人工地震探査実施機関および観測分担 (アルファベット順)

Table 5 List of organizations to take part in the seismic prospecting and their observation points

機 関 名	分 担 観 測 点 名	観測点数
科学技術庁 国立防災科学技術センター	E-01~E-05, F-10	6
工業技術院地質調査所	F-05~F-08	4
神戸大学自然科学研究科	D-04~D-10	7
応用地質株式会社	B-09, C-01~C-12, D-01~D-03, F-02~F-04, F-09, F-11~F-15, G-01~G-05, G-11 S P 1, S P 2, S P 3, S P 4	35
埼玉大学教養部	G-08, G-10	2
埼玉大学工学部	G-06, G-07, G-09	3
東京大学地震研究所	E-06~E-23	18
東京工業大学総合理工学研究科	A-01~A-19, B-01~B-08, F-01	28

表一6(1) 爆破点から観測点までの距離と走時(爆破点:(SP1, SP2))

Table 6(1) Distances between shot points and receiving points and travel time of first arrivals (shot point: SP1, SP2)

S P 1						S P 2					
観測点	距離 (km)	走時 (s.)	観測点	距離 (km)	走時 (s.)	観測点	距離 (km)	走時 (s.)	観測点	距離 (km)	走時 (s.)
A-01	45.96	9.270	E-01	20.51	4.992	A-01	33.50	6.887	E-01	0.78	0.410
A-02	44.53	9.233	E-02	20.28	5.032	A-02	31.64	6.664	E-02	1.57	0.850
A-03	42.34	9.005	E-03	20.32	—	A-03	29.56	6.454	E-03	2.20	—
A-04	40.52	8.851	E-04	19.92	4.812	A-04	27.49	6.441	E-04	3.14	1.490
A-05	38.90	8.588	E-05	18.81	4.852	A-05	25.66	5.981	E-05	5.35	1.930
A-06	36.18	8.459	E-06	18.36	4.742	A-06	22.47	5.695	E-06	6.61	2.240
A-07	35.48	8.478	E-07	18.28	—	A-07	21.60	5.594	E-07	7.54	—
A-08	34.39	8.235	E-08	18.17	—	A-08	20.36	5.360	E-08	8.34	—
A-09	33.62	8.195	E-09	18.18	—	A-09	19.31	5.185	E-09	9.33	—
A-10	32.82	8.138	E-10	18.26	—	A-10	18.43	5.073	E-10	10.16	—
A-11	32.04	8.008	E-11	18.23	—	A-11	17.39	4.893	E-11	11.10	—
A-12	30.32	7.765	E-12	18.37	5.602	A-12	15.31	4.490	E-12	12.05	3.880
A-13	28.96	7.435	E-13	18.29	5.602	A-13	13.43	4.081	E-13	12.81	4.130
A-14	27.56	6.888	E-14	18.60	5.612	A-14	11.55	3.415	E-14	13.60	—
A-15	26.29	6.498	E-15	18.76	5.622	A-15	9.54	2.820	E-15	14.39	4.520
A-16	25.08	5.897	E-16	19.00	—	A-16	7.90	2.312	E-16	15.03	4.710
A-17	23.77	5.239	E-17	19.06	5.632	A-17	6.22	1.906	E-17	16.02	4.860
A-18	22.43	4.953	E-18	19.32	5.612	A-18	3.76	1.422	E-18	16.91	5.040
A-19	21.44	5.132	E-19	19.66	5.602	A-19	1.85	0.890	E-19	17.56	5.210
B-01	35.09	8.185	E-20	20.12	5.582	B-01	22.34	5.671	E-20	18.67	5.420
B-02	33.73	7.957	E-21	20.50	5.532	B-02	22.02	5.609	E-21	19.55	5.580
B-03	32.23	7.621	E-22	21.03	5.512	B-03	21.78	5.546	E-22	20.83	5.860
B-04	30.19	7.164	E-23	21.58	5.702	B-04	20.88	5.788	E-23	21.74	—
B-05	28.54	6.930	F-01	32.97	8.062	B-05	20.35	5.428	F-01	20.13	5.386
B-06	27.40	6.720	F-02	29.05	—	B-06	20.48	5.419	F-02	17.12	6.048
B-07	25.66	6.478	F-03	26.30	—	B-07	20.75	5.640	F-03	15.27	4.694
B-08	24.45	6.275	F-04	22.33	6.310	B-08	21.33	5.891	F-04	13.34	4.286
B-09	23.26	5.616	F-05	14.97	4.792	B-09	21.90	5.918	F-05	12.75	3.960
C-01	18.97	4.926	F-06	11.13	3.772	C-01	1.87	0.868	F-06	13.55	3.930
C-02	16.95	4.525	F-07	7.50	2.942	C-02	3.88	—	F-07	15.69	4.160
C-03	14.86	4.277	F-08	3.93	2.052	C-03	5.97	2.349	F-08	18.09	—
C-04	12.86	—	F-09	4.02	2.071	C-04	7.96	—	F-09	24.23	5.940
C-05	11.51	3.673	F-10	7.25	3.400	C-05	9.31	3.073	F-10	27.20	5.735
C-06	8.39	3.183	F-11	12.00	—	C-06	12.45	—	F-11	31.36	—
C-07	6.93	2.906	F-12	16.01	2.041	C-07	13.90	3.589	F-12	35.12	7.583
C-08	5.02	2.266	F-13	20.02	—	C-08	15.81	—	F-13	38.88	—
C-09	4.10	1.924	F-14	24.00	—	C-09	16.73	4.426	F-14	42.70	—
C-10	3.04	1.6025	F-15	28.02	—	C-10	17.79	—	F-15	46.56	—
C-11	2.05	1.180	G-01	1.95	1.119	C-11	18.77	4.850	G-01	20.79	5.335
C-12	0.96	0.610	G-02	3.97	2.0535	C-12	19.86	—	G-02	20.90	6.255
D-01	20.11	5.440	G-03	6.00	2.7485	D-01	21.55	5.848	G-03	21.32	6.205
D-02	18.11	—	G-04	8.06	3.490	D-02	20.59	—	G-04	21.78	5.680
D-03	15.99	4.760	G-05	9.89	4.119	D-03	19.85	5.780	G-05	22.61	5.973
D-04	14.27	4.452	G-06	12.01	—	D-04	19.09	5.430	G-06	23.35	—
D-05	11.99	4.192	G-07	13.39	—	D-05	19.37	5.410	G-07	24.15	—
D-06	10.05	3.942	G-08	15.12	5.662	D-06	18.67	5.540	G-08	24.74	10.430
D-07	8.32	3.362	G-09	17.53	—	D-07	18.63	6.310	G-09	26.39	—
D-08	6.14	2.752	G-10	20.21	5.792	D-08	18.85	6.700	G-10	28.68	—
D-09	4.33	2.172	G-11	22.28	5.967	D-09	19.61	8.060	G-11	29.53	—
D-10	2.16	1.272				D-10	19.90	9.140			
SP1	—	—	SP3	22.23	5.704	SP1	20.83	5.110	SP3	22.83	5.966
SP2	20.83	5.188	SP4	37.25	8.580	SP2	—	—	SP4	23.65	5.810

表一6(2) 爆破点から観測点までの距離と走時(爆破点: SP3, SP4)

Table 6(2) Distances between shot points and receiving points and travel time of first arrivals (shot point: SP3, SP4)

S P 3						S P 4					
観測点	距離 (km)	走時 (s.)	観測点	距離 (km)	走時 (s.)	観測点	距離 (km)	走時 (s.)	観測点	距離 (km)	走時 (s.)
A-01	26.67	5.801	E-01	22.05	—	A-01	9.86	2.789	E-01	23.14	—
A-02	25.77	5.681	E-02	21.26	—	A-02	8.01	2.488	E-02	22.58	—
A-03	23.82	5.539	E-03	20.68	—	A-03	5.91	2.218	E-03	22.00	—
A-04	22.54	5.437	E-04	19.72	—	A-04	3.85	1.700	E-04	21.52	—
A-05	21.47	5.370	E-05	17.47	5.075	A-05	2.02	0.978	E-05	20.85	5.475
A-06	19.96	5.300	E-06	16.22	5.075	A-06	1.18	0.548	E-06	20.50	5.635
A-07	19.67	5.298	E-07	15.29	—	A-07	2.05	0.908	E-07	20.09	—
A-08	19.13	5.267	E-08	14.49	—	A-08	3.29	1.369	E-08	19.85	—
A-09	18.96	5.273	E-09	13.49	—	A-09	4.33	1.810	E-09	19.50	—
A-10	18.60	5.243	E-10	12.66	—	A-10	5.21	2.204	E-10	19.20	—
A-11	18.47	5.296	E-11	11.72	—	A-11	6.26	2.664	E-11	19.08	—
A-12	18.07	5.269	E-12	10.77	4.065	A-12	8.34	3.344	E-12	18.88	5.535
A-13	18.14	5.318	E-13	10.01	3.905	A-13	10.21	3.822	E-13	18.98	5.495
A-14	18.26	5.363	E-14	9.23	—	A-14	12.09	4.326	E-14	18.75	—
A-15	18.82	5.452	E-15	8.44	3.505	A-15	14.11	4.668	E-15	18.73	5.395
A-16	19.12	5.520	E-16	7.80	3.365	A-16	15.75	4.856	E-16	18.66	5.305
A-17	19.41	5.185	E-17	6.81	3.125	A-17	17.44	4.703	E-17	18.95	5.385
A-18	20.58	5.218	E-18	5.91	2.925	A-18	19.89	4.895	E-18	19.09	5.435
A-19	21.58	5.554	E-19	5.27	2.645	A-19	21.81	5.600	E-19	19.08	5.445
B-01	18.27	4.957	E-20	4.16	2.300	B-01	2.35	1.019	E-20	19.29	5.445
B-02	16.37	4.561	E-21	3.28	1.755	B-02	4.22	1.754	E-21	19.51	5.415
B-03	14.29	4.149	E-22	2.01	1.115	B-03	6.33	2.618	E-22	19.99	5.355
B-04	12.09	3.672	E-23	1.08	0.635	B-04	8.51	3.235	E-23	20.23	5.375
B-05	10.27	3.436	F-01	17.02	4.839	B-05	10.35	3.553	F-01	4.28	1.595
B-06	8.60	3.093	F-02	14.21	5.402	B-06	12.01	3.794	F-02	8.19	—
B-07	6.11	2.757	F-03	12.57	5.560	B-07	14.49	4.218	F-03	10.94	4.027
B-08	4.08	2.173	F-04	10.82	3.931	B-08	16.52	4.667	F-04	14.92	4.681
B-09	2.12	1.169	F-05	11.08	4.095	B-09	18.48	5.454	F-05	22.29	6.095
C-01	22.09	5.991	F-06	13.42	4.555	C-01	24.55	7.916	F-06	26.12	6.855
C-02	21.27	5.912	F-07	15.78	4.935	C-02	25.49	6.616	F-07	29.76	7.625
C-03	20.65	5.598	F-08	18.65	5.275	C-03	26.64	6.505	F-08	33.34	7.965
C-04	20.21	—	F-09	25.81	6.586	C-04	27.81	—	F-09	41.26	—
C-05	19.94	—	F-10	28.68	7.107	C-05	28.59	—	F-10	44.49	9.905
C-06	19.69	—	F-11	33.29	—	C-06	30.59	—	F-11	49.24	—
C-07	20.21	—	F-12	37.10	8.186	C-07	31.89	6.815	F-12	53.26	9.383
C-08	20.50	—	F-13	40.97	—	C-08	33.27	—	F-13	57.26	11.177
C-09	20.75	6.828	F-14	44.81	7.890	C-09	33.99	9.387	F-14	61.24	—
C-10	21.00	—	F-15	48.75	—	C-10	34.77	—	F-15	65.27	—
C-11	21.44	—	G-01	23.94	5.200	C-11	35.61	—	G-01	38.31	8.730
C-12	21.78	—	G-02	25.73	5.802	C-12	36.44	4.999	G-02	39.45	7.545
D-01	2.13	1.160	G-03	27.61	6.883	D-01	21.64	5.140	G-03	40.75	9.228
D-02	4.13	2.308	G-04	29.48	7.215	D-02	22.85	—	G-04	42.01	9.345
D-03	6.24	2.940	G-05	31.26	7.740	D-03	24.33	6.040	G-05	43.40	—
D-04	7.97	3.285	G-06	33.19	—	D-04	25.39	6.475	G-06	44.75	—
D-05	10.26	3.675	G-07	34.54	—	D-05	27.60	6.885	G-07	45.85	—
D-06	12.18	4.332	G-08	36.08	7.995	D-06	28.76	7.375	G-08	46.86	10.695
D-07	13.92	4.435	G-09	38.46	—	D-07	30.13	—	G-09	48.87	—
D-08	16.09	4.895	G-10	41.24	—	D-08	31.92	7.835	G-10	51.41	—
D-09	17.92	5.245	G-11	43.03	—	D-09	33.67	8.115	G-11	52.56	—
D-10	20.07	—				D-10	35.32	—			
S P 1	22.23	5.721	S P 3	—	—	S P 1	37.25	8.617	S P 3	20.59	5.353
S P 2	22.83	5.953	S P 4	20.59	5.328	S P 2	23.65	5.801	S P 4	—	—

2・3 爆破および観測

爆破のための爆薬に関しては、日本油脂精製の深海用爆薬を使用することとし、測線長および爆破点の地盤状況とを考慮して、1孔当りの爆薬量を原則として300kgとした。この爆薬は、1個当り直径172mm、長さ585mm、重量20kgで、爆速は7.2~7.7km/sである。したがって、使用する爆薬長は8.8mとなり、地下50mの深さに埋設するために、口径300mm、深さ60mの孔を掘削した。ただし、加須市の爆破点SP3については、近隣の家屋などの状況を考慮して、爆薬量を200kgとし、孔の深さを70mにした。爆破に関する諸元を表-3に示す。

観測のための地震計としては、表-4に示す3種類のものを用い、記録器としては、6チャンネルあるいは14チャンネルのデータレコーダを使用した。

今回の人工地震探査は、爆破点が4点、103点の観測

点における同時観測という人工地震探査としては極めて大規模なものであり、表-5に示す8機関が爆破および観測を分担して実施した。参加人員は76名であった。

2・4 解析およびその結果

4つの爆破点(SP1, SP2, SP3, SP4)において発生した振動は、すべての観測点においてデータレコーダによって磁気テープに収録されており、この磁気テープを再生し、爆破時刻を基準にして、各爆破におけるそれぞれの観測点までの走時を読み取った。これらの走時の値は、爆破点から各観測点までの距離とともに表-6に示してある。

さらに、各観測点において観測された波形記録を、爆破時刻を基準にしてデジタル化し、コンピュータに入力した。AからGまでの7つの測線のそれぞれについて、それらの測線上の各観測点におけるその測線上にある爆破点からの記録を出力して波形図を作成し、爆破点

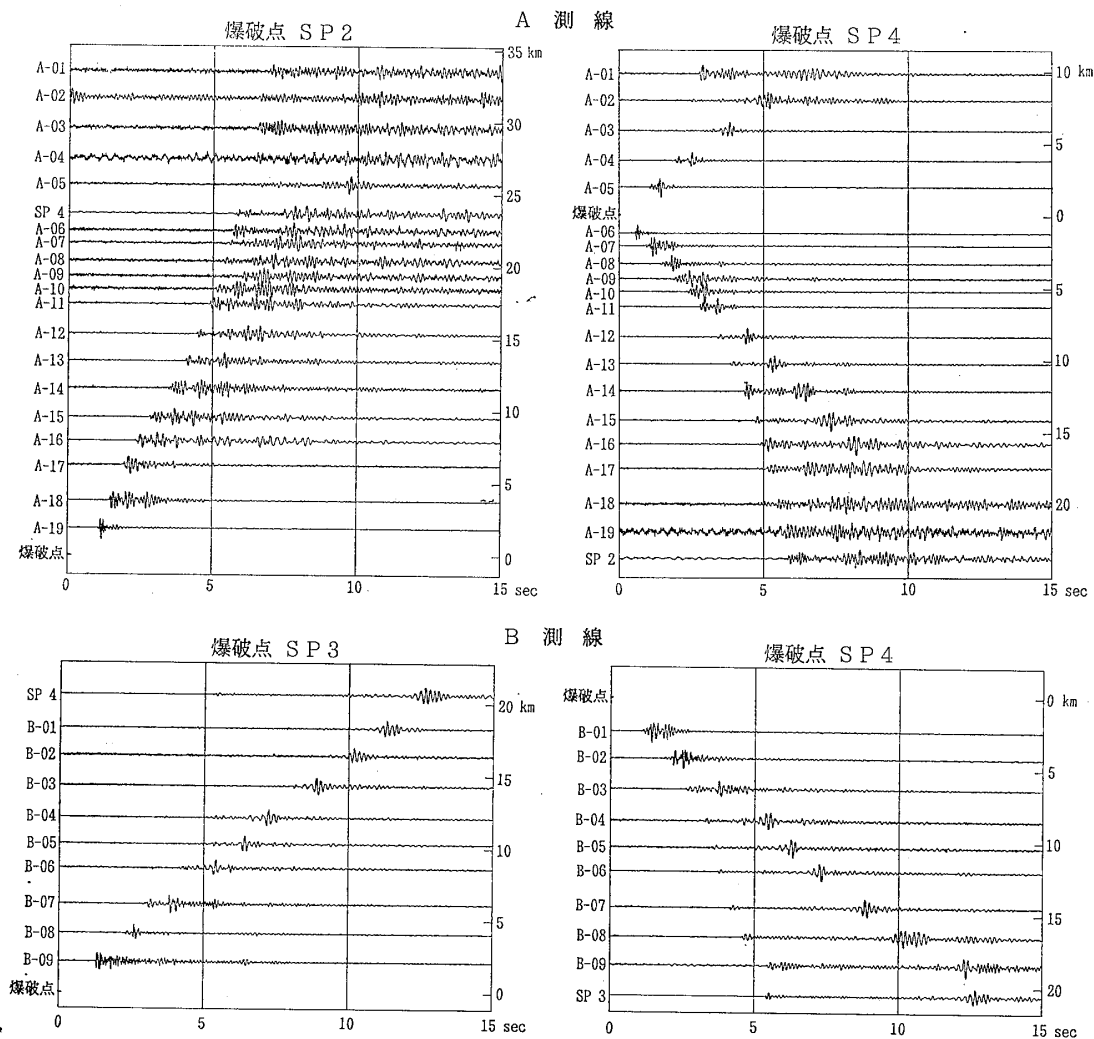


図-4(1) ペースト・アップ図(A測線, B測線)

Fig.4(1) Seismograms obtained by the explosions (A-line, B-line)

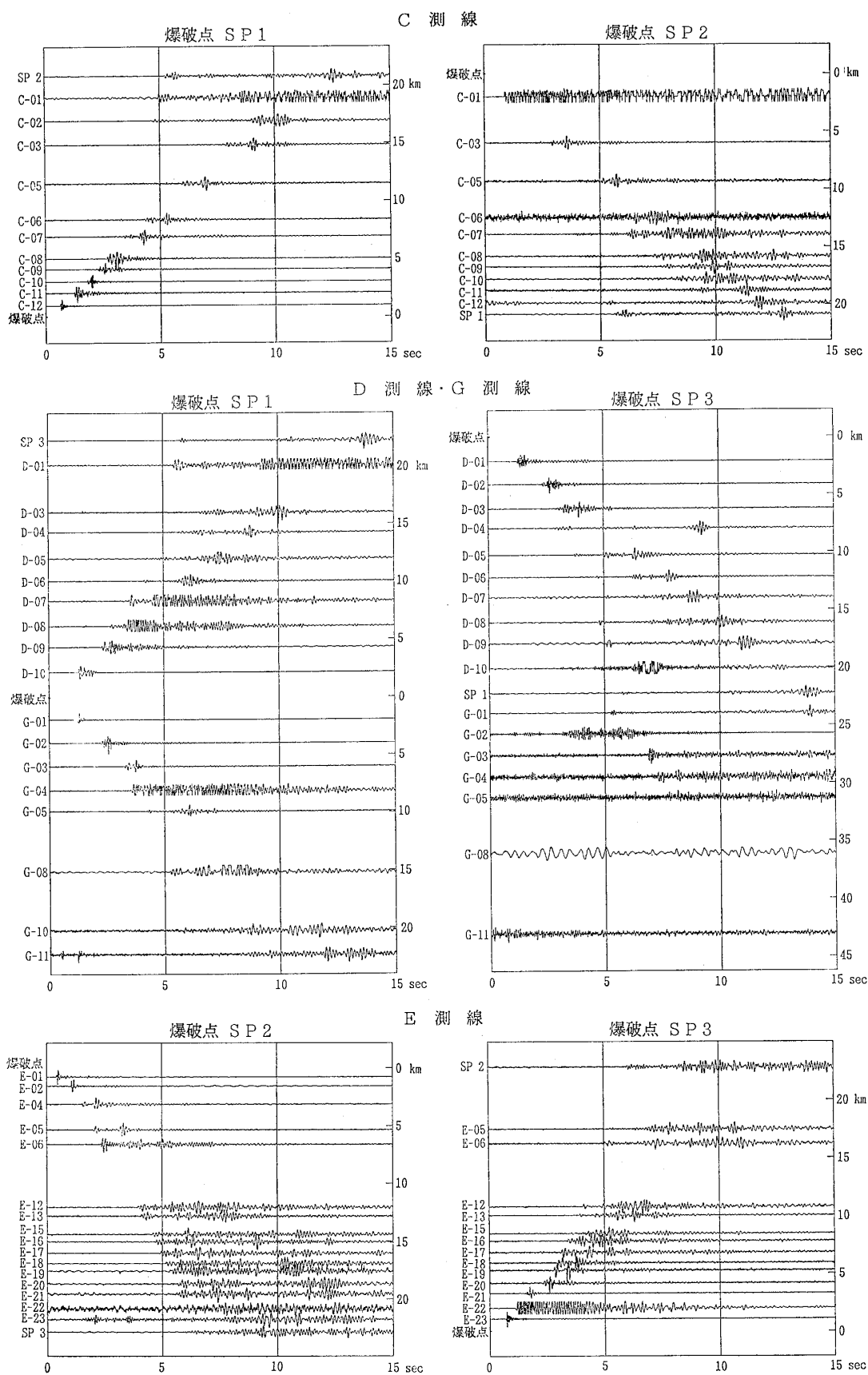


図-4(2) ベースト・アップ図 (C測線, D・G測線, E測線)

Fig.4(2) Seismograms obtained by the explosions (C-line, D-G-line, E-line)

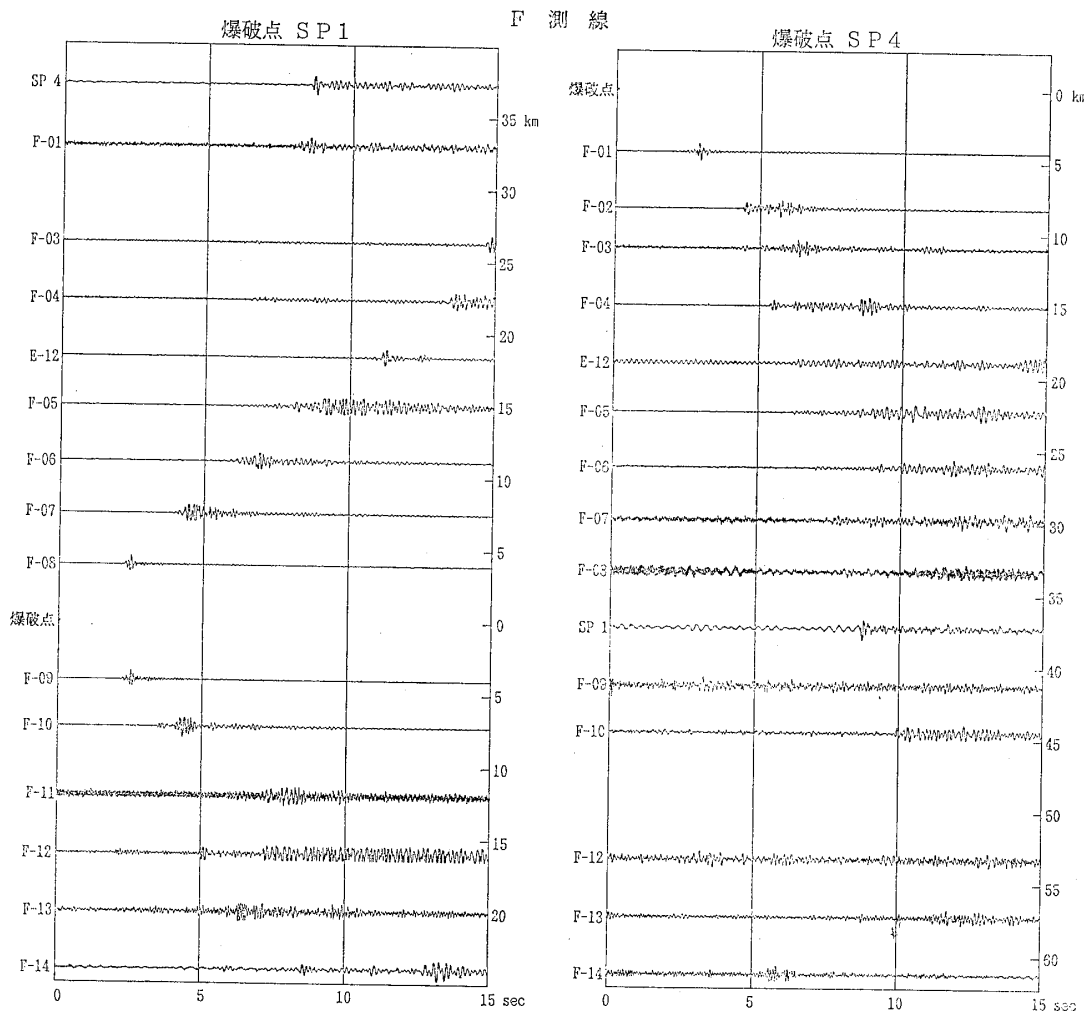


図4-3(3) ベースト・アップ図 (F測線)

Fig.4(3) Seismograms obtained by the explosions (F-line)

からの距離にしたがって並置したペーストアップ図を作成した。各測線、各爆破点ごとのペーストアップ図を図-4に示す。

これらのペーストアップ図に基づいて、初動の走時を読み取り、走時曲線を作成した。各測線についての走時曲線を図-5の上部に示す。一方、表層(第1速度層)の速度は、爆破点近傍におよそ100m間隔に設置された6個の地震計による観測から求められた。この観測によって作成された走時曲線を図-6に示す。この観測結果から、第1速度層の速度を1.8km/sとし、図-5に示した走時曲線を解析して得られた地下の速度構造を同図の下部に示した。また、第4速度層(地震基盤層)の深さに関するタイムタームをも合わせて示した。

解析の結果得られた各速度層の速度は、下記の通りである。

- 第1速度層 1.8km/s
- 第2速度層 2.4km/s
- 第3速度層 3.4km/s

第4速度層 5.6km/s

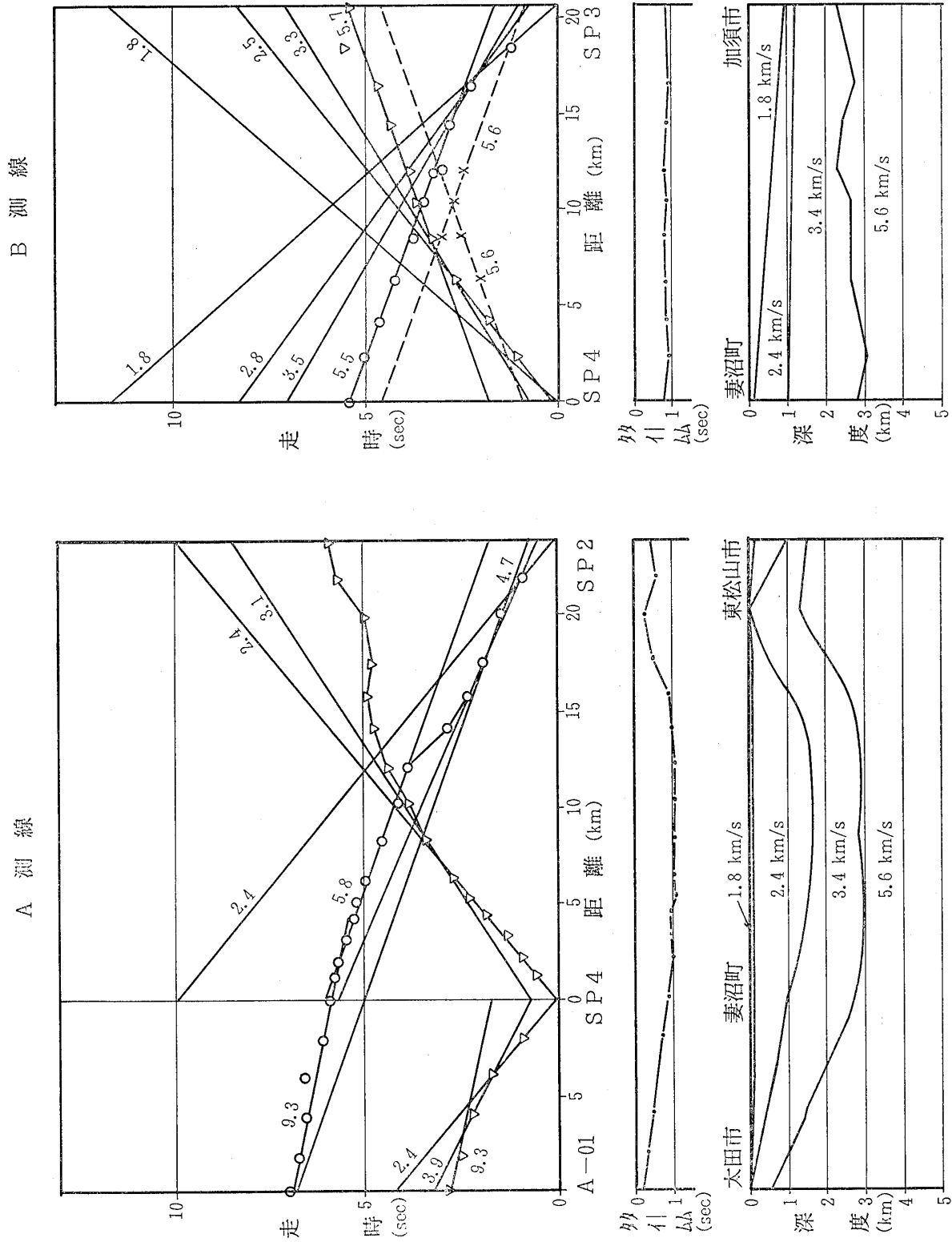
さらに、各爆破点におけるそれぞれの速度層の層厚とその層厚に関するタイムタームを示すと、表-7のようになる。

また、図-5に示した各測線の速度断面に基づいて、第4速度層の上面の等深度線を描くと、図-7に示すようになる。この結果を図-2と比較すると、細部においては若干の相違が認められるが、大局的には、この地域における先新第三系が西北西方向に谷地形をしていることを確認することができるが、谷地形の深さは従来考えられていたものよりも深いようである。

3 埼玉県における深い地盤構造

3・1 速度層と地層との対応およびS波速度の評価

日本における深い地盤構造については未だ不明な点も多いが、埼玉県を含む関東地方の南部は、深尺のボーリングによる調査を含め、比較的多くの調査研究が進めら



図一5(1) 走時曲線, 第4速度層のタイムームおよび解析断面 (A測線, B測線)
 Fig.5(1) Travel time diagrams, time terms of the fourth velocity layer and analyzed underground structure (A-line, B-line)

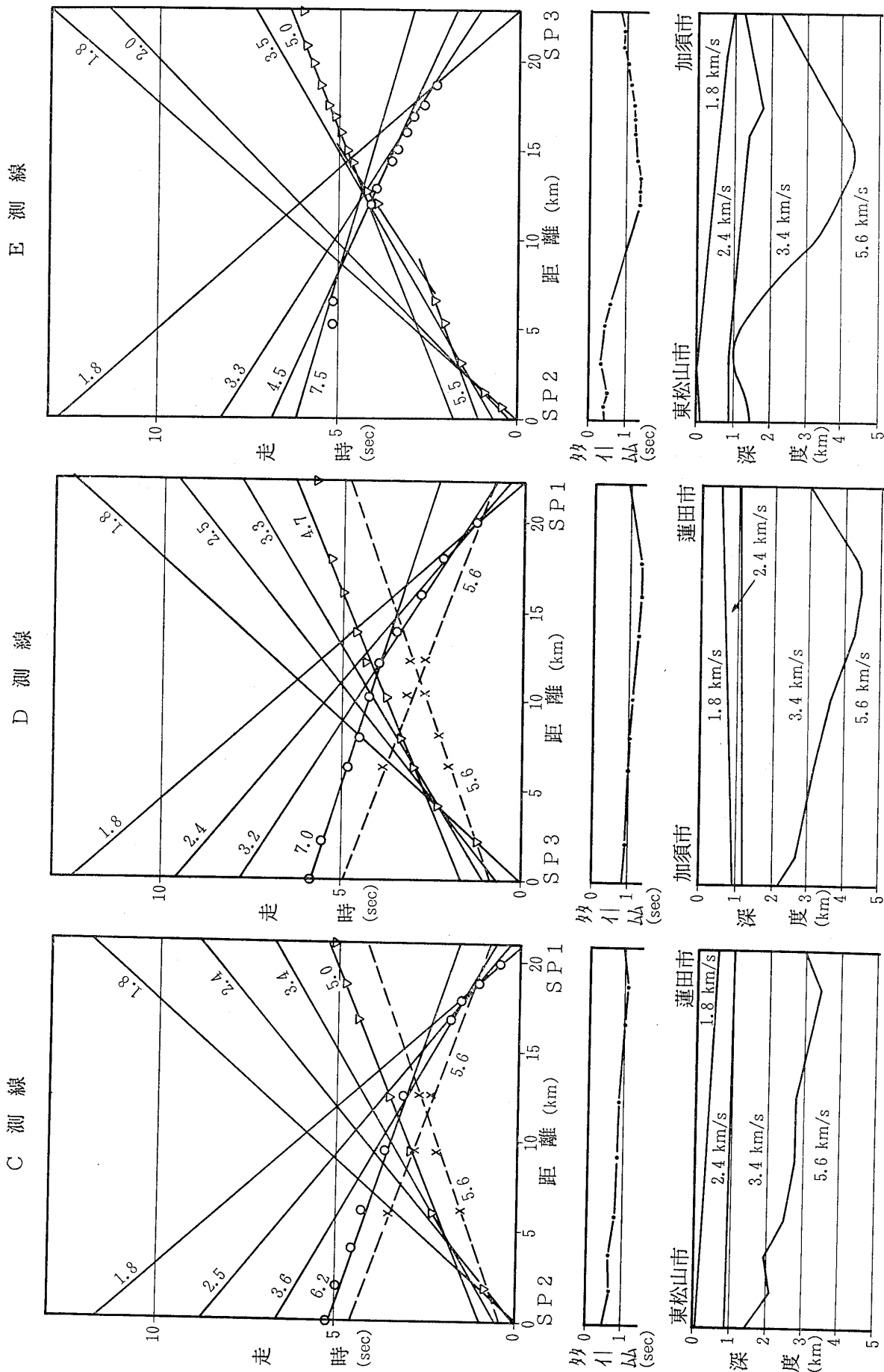
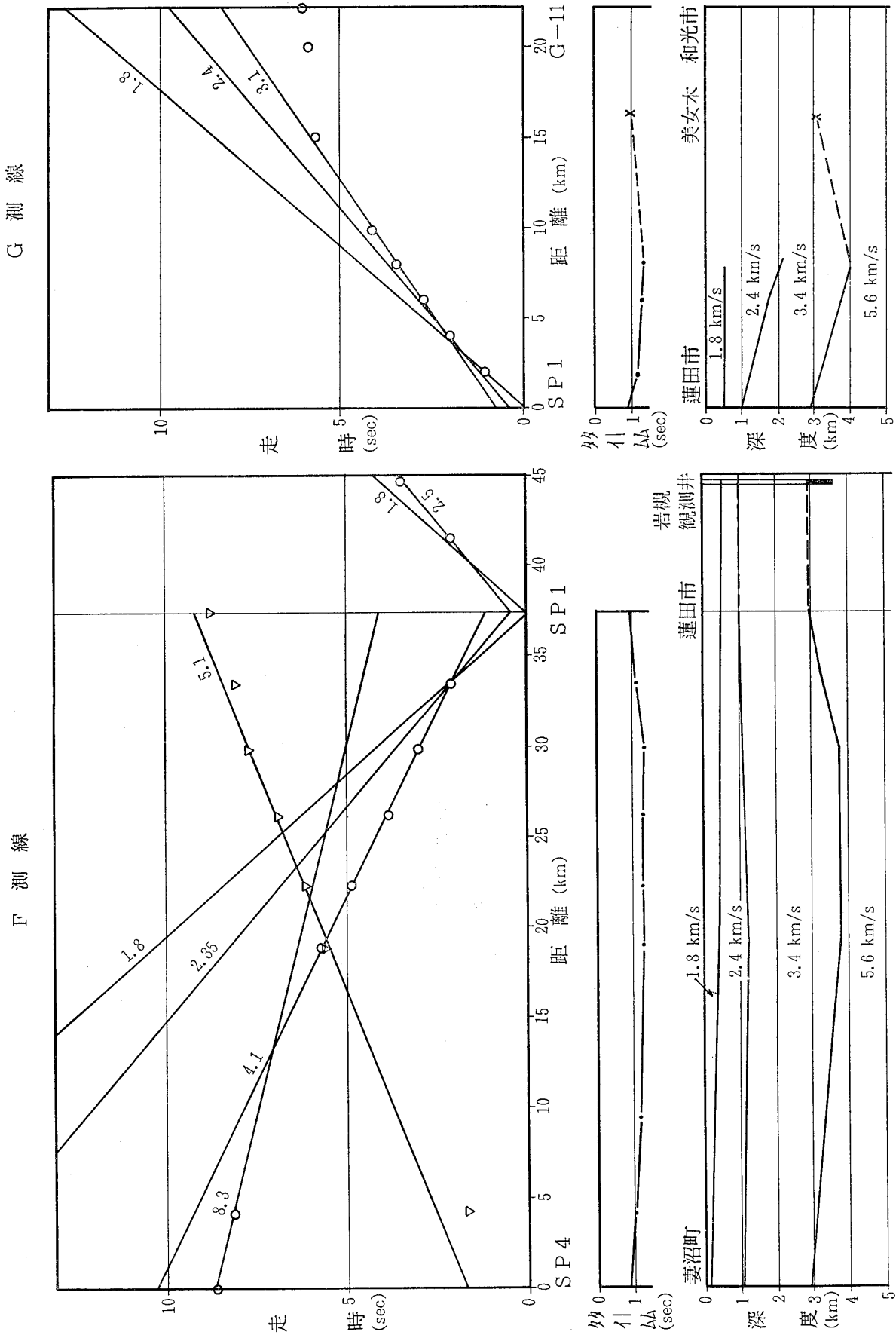


図-5(2) 走時曲線, 第4速度層のタイムタームおよび解析断面 (C測線, D測線, E測線)
 Fig.5(2) Travel time diagrams, time terms of the fourth velocity layer and analyzed underground structure (C-line, D-line, E-line)



図一五(3) 走時曲線, 第4速度層のタイムタイムおよび解析断面 (F測線, G測線)
 Fig.5(3) Travel time diagrams, time terms of the fourth velocity layer and analyzed underground structure (F-line, G-line)

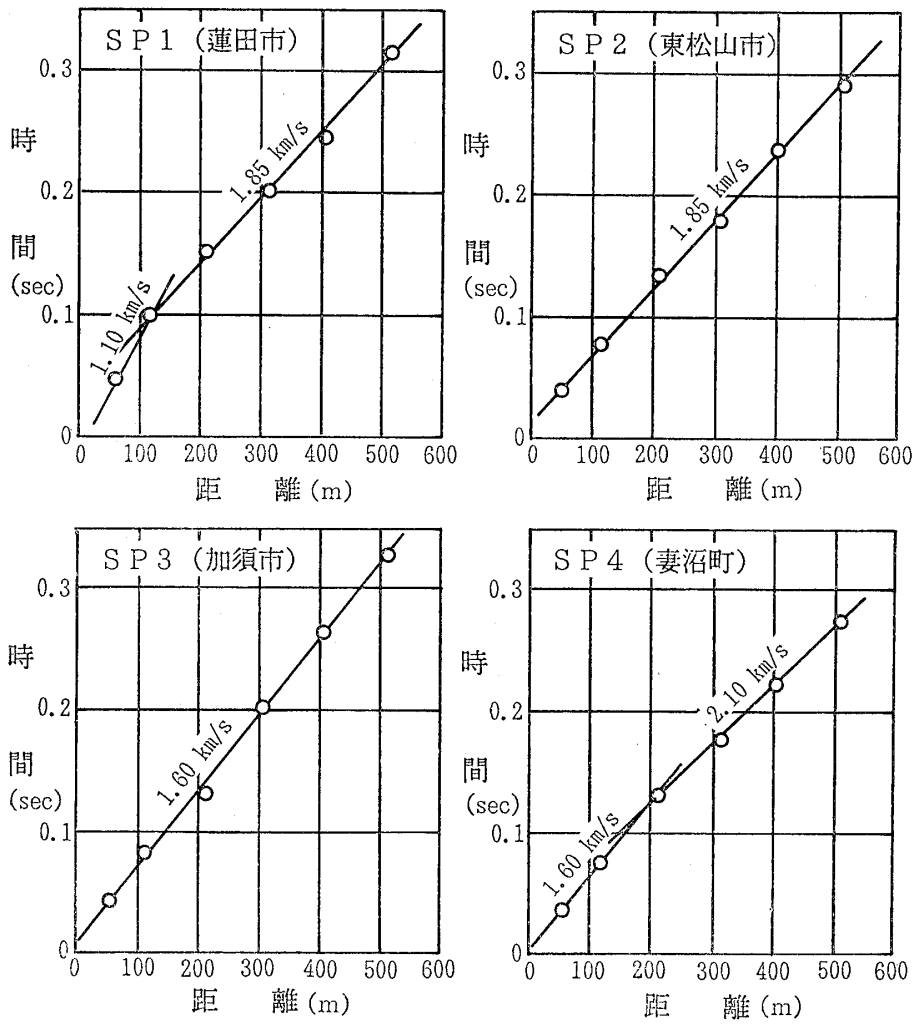
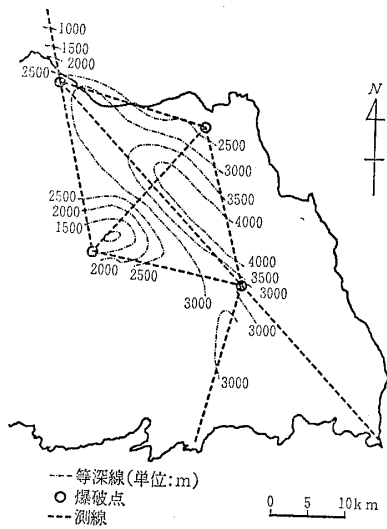


図-6 表層の速度を求めるための爆破点近傍における走時曲線
 Fig. 6 Travel time curves for getting velocity of surface layer nearby each shot point

表-7 爆破点における各速度層の層厚および第四速度層上面までの深さ
 Table 7 Underground structure at each shot point

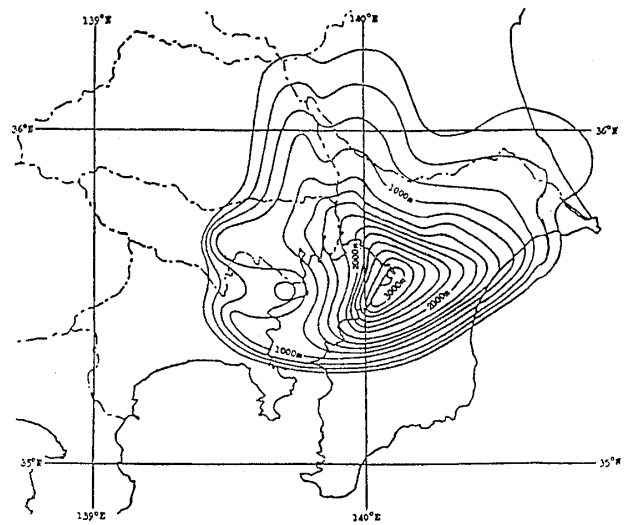
爆 破 点	SP1 (蓮田市)	SP2 (東松山市)	SP3 (加須市)	SP4 (妻沼町)
第1速度層	層厚 0.5 km (0.18°)	層厚 0.1 km (0.04°)	層厚 0.9 km (0.33°)	層厚 0.1 km (0.04°)
第2速度層	層厚 0.5 km (0.38°)	層厚 0.8 km (0.29°)	層厚 0.3 km (0.51°)	層厚 0.9 km (0.32°)
第3速度層	層厚 1.9 km (0.90°)	層厚 0.6 km (0.50°)	層厚 1.0 km (0.82°)	層厚 1.8 km (0.82°)
第4速度層	深度 2.9 km	深度 1.5 km	深度 2.2 km	深度 2.8 km

層厚の下の()内はその層厚に対するタイムタームを示す



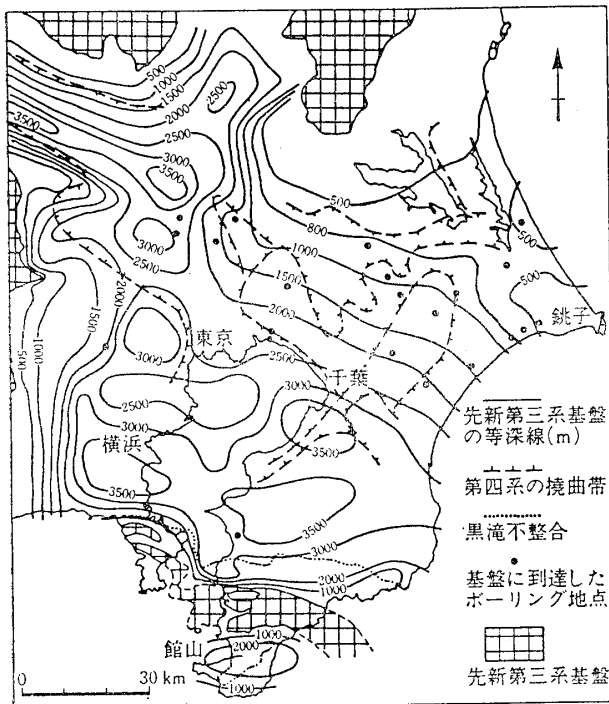
図一七 測線付近における第4速度層(先新第三系)上面の深さ

Fig.7 Contour of upper boundary of the fourth velocity layer (Pre-Neogene system) in the neighbourhood of the traverse lines



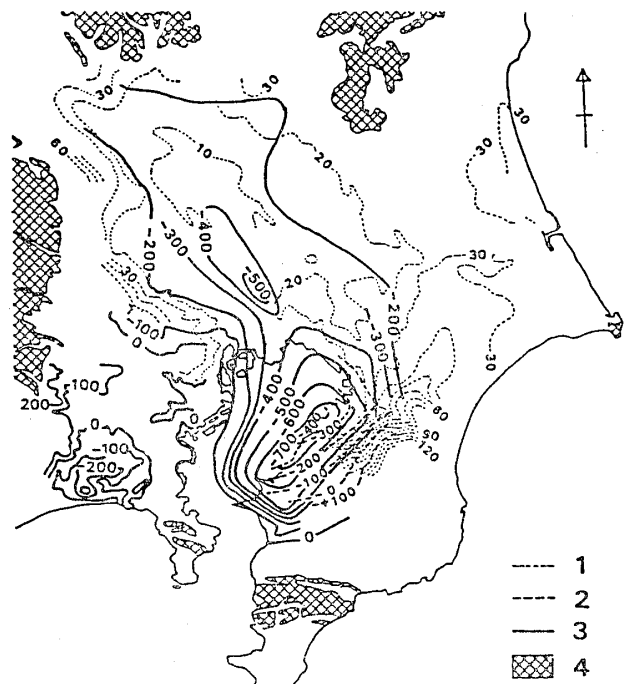
図一九 関東平野の三浦層群相当層上面の等深度線図 (福田ほか, 1988)

Fig.9 Contour map of upper boundary of Miura group and its equivalent layers in Kanto Plain



図一八 関東平野の先新第三系上面の等深度線図 (日本の地質 関東地方, 1986より) (矢島・楡井・鈴木 原図)

Fig.8 Contour map of upper boundary of Pre-Neogene system in Kanto Plain



図一十 関東平野の上総層群相当層上面の等深度線図 (菊地ほか, 1988)

1: 常総粘土層の基底 2: 泉谷泥層の基底 3: 東京湾不整合 4: (先新第三系)

Fig.10 Contour map of upper boundary of Kazusa group and its equivalent layers in Kanto Plain

れている地域である。関東地方における概略の地層は、上位より沖積層、洪積層、上総層群相当層、三浦層群相当層、先新第三系の地質であり、先新第三系上面、三浦層群相当層上面および上総層群相当層上面の等深度線

が、それぞれ、日本の地質「関東地方」編集委員会(1986)、福田ほか(1988)および菊地ほか(1988)によって示されている。

表一八 各速度層に対応する地層とS波速度値
 Table 8 Geology and S-wave velocity values corresponding to P-wave velocity layers

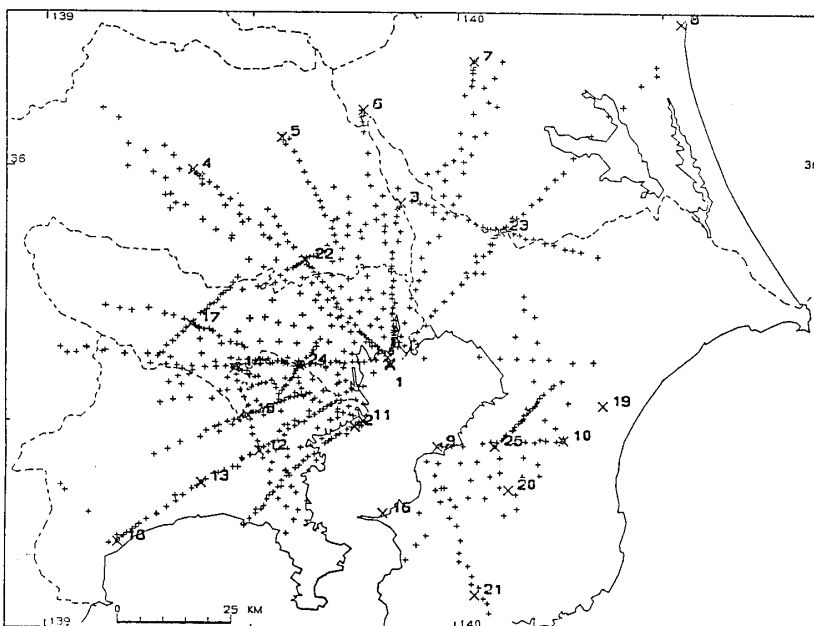
速度層	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	地層名
第1速度層	1.8	0.5	沖積世、洪積世の地層
第2速度層	2.4	0.7	上総層群相当層
第3速度層	3.4	1.5	三浦層群相当層
第4速度層	5.6	3.0	先新第三紀の地層

これらの等深線図によって埼玉県内の状況を見ると、先新第三系上面は、図一八に示すように、東部において深さ3000~3500mの盆地状を呈する部分があり、さらに、妻沼町の南方には北西方向に向かう深さ3500m程度の谷状部分が存在する。三浦層群相当層上面の分布は図一九に示すように、東部地域に限られ、東南方向に向かって深くなり、東南部においては1400m程度の深さとなっている。上総層群相当層上面の分布は、図一〇に示すように、東部地域に限られ、東南部で深さが500m程度と最も深く、北西方向に谷状に延びている。

上記の資料と探査によって得られた速度構造とを比較するとき、表一八に示すように、第一速度層は沖積世・洪積世の地層、第二速度層は上総層群相当層、第三速度

層は三浦層群相当層、第四速度層は先新第三紀の地層に対応させることが妥当であると考えた。

一方、地震波の伝播特性や地盤の振動特性などのような工学的な解析を進めるためには、S波の速度値は不可欠である。しかしながら、人工地震探査によって求められた速度値はP波の速度値であるので、このP波の速度値に基づいてS波の速度値を求める必要がある。物理探査学会発行(1989)の「土と岩」の張性波速度——測定と応用——によれば、種々の岩石に対するP波速度とS波速度の関係が示されている。これらの資料や岩槻市にある深井戸の資料(太田ほか, 1977)などに基づいて、探査によって得られた各速度層のP波速度からS波速度を表一八に示すように設定した。



- +: 観測点
 x: 爆破点
- | | |
|--------|---------|
| 1 夢の島 | 14 黒川 |
| 2 扇島 | 15 長津田 |
| 3 吉川町 | 16 富津 |
| 4 鳩山 | 17 昭島 |
| 5 菖蒲 | 18 小田原 |
| 6 五霞 | 19 東金 |
| 7 明野 | 20 市原 |
| 8 大洗 | 21 香木原 |
| 9 袖ヶ浦 | 22 美女木 |
| 10 真名 | 23 新木 |
| 11 東扇島 | 24 多摩川 |
| 12 岡津 | 25 市原-2 |
| 13 平塚 | |

図一〇 首都圏における既往の人工地震探査の爆破点および観測点の分布
 (首都圏基盤構造研究グループ, 1989)

Fig. 11 Location of shot points and receiving points for the existing seismic prospecting in the Tokyo metropolitan area

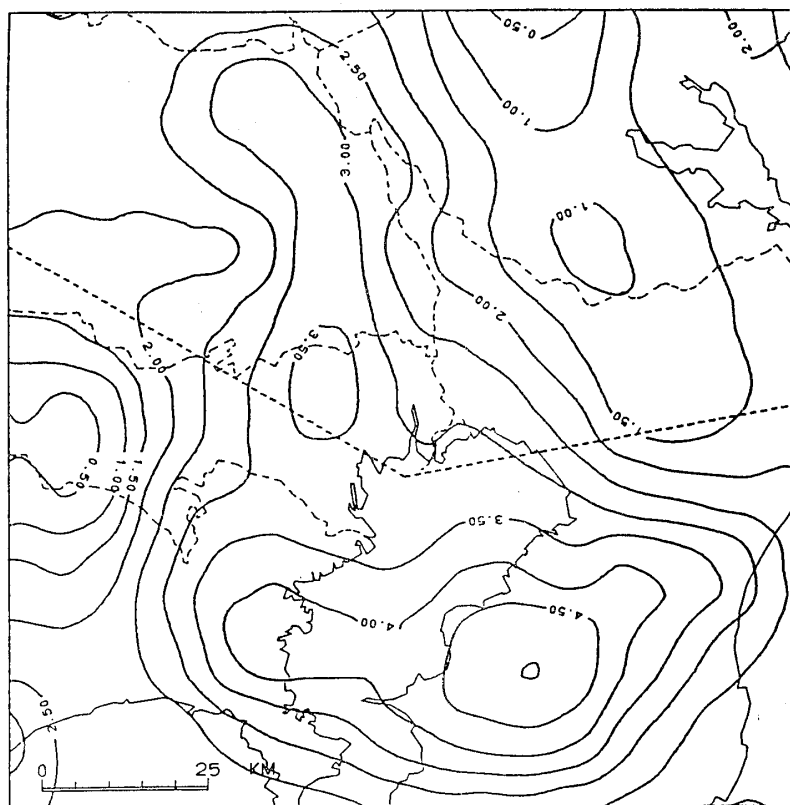


図-12 首都圏における基盤上面の深さの分布（人工地震探査の結果による）
 （首都圏基盤構造研究グループ，1989—東ほか(1989)の解析による）
 * 深さのコンターはkm単位。点線の両側で基盤速度が異なり，北側
 が5.6km/s，南側が5.3km/sという結果がでている。

Fig.12 Contour map of upper boundary of base rock layer in the Tokyo metropolitan area

3・2 深い地盤構造の推定

埼玉県を含む関東地方南部については，深い地盤を対象にした探査が頻繁に行われている地域である。図-11は，現在までに首都圏において実施された人工地震探査の爆破点および観測点を，首都圏基盤構造研究グループ(1989)が総括して示したものである。この図によれば，全体で25箇所において爆破が実施されており，これらの多くの実験結果は，図-12のような基盤深度の等高線図として示されている。

この他にも，建設省国土地理院(1980)の衣笠善博による関東地方の平野部における先新第三系基盤の深度分布図や，建設省国土地理院(1989)の重力探査による基盤の深度分布図などがある。

これらの既往の探査による資料や地質学上の研究成果と照合し，今回の人工地震探査によって求められた結果に基づいて，埼玉県全域における先新第三系上面(図-13)，三浦層群相当層上面(図-14)および上総層群相当層上面(図-15)の等高線図を作成した。

4 やや長周期領域における埼玉県の地盤の震動特性

一般に，地盤の地震時における震動特性を評価するにあたっては，対象とする地域周辺において発生が予想される地震の震源を想定し，この震源から発生する地震波を解析的に求めるという方法が行われている。やや長周期地震動は，工藤(1978)，瀬尾(1986)などによれば，ラブ波あるいはレイリー波がその主体となっている。したがって，今回の人工地震探査の結果を用いて作成された深い地盤構造に基づいて，ラブ波およびレイリー波の周期特性を，新第三紀以降の地層が現われている埼玉県東部の低地部と台地部の一部について検討することとした。

4・1 やや長周期地震動の特性の評価

深い地盤構造に基づいて求められるやや長周期地震動の特性を表すものとして，ラブ波およびレイリー波のそれぞれについて分散曲線を算出し，その分散曲線において，群速度が極小を与える周期をもって当てることとし

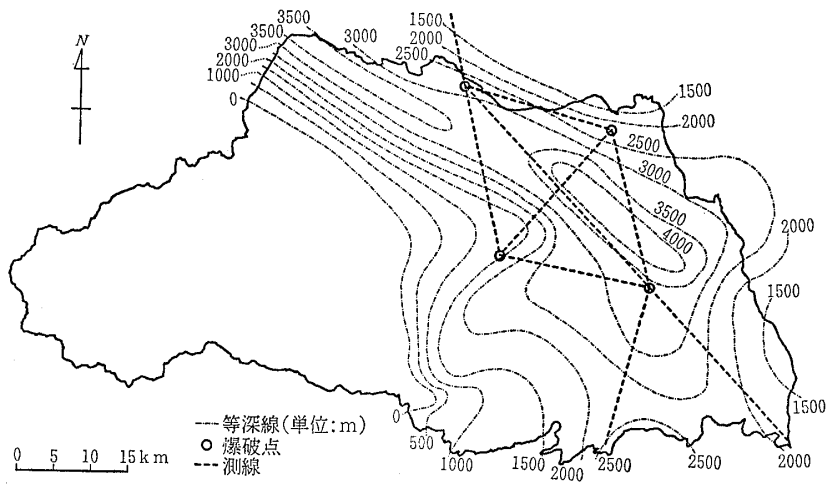


図-13 埼玉県における先新第三系上面の深度分布

Fig.13 Contour map of upper boundary of Pre-Neogene system in Saitama prefecture

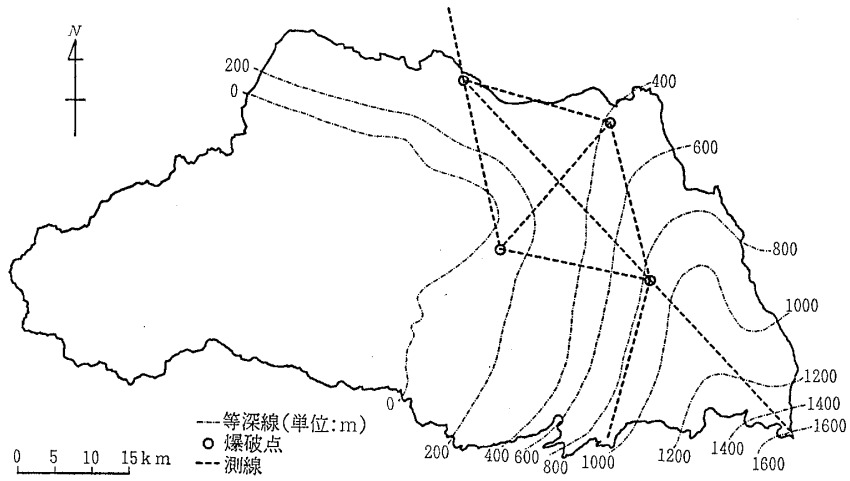


図-14 埼玉県における三浦層群相当層上面の深度分布

Fig.14 Contour map of upper boundary of Miura group and its equivalent layers in Saitama prefecture

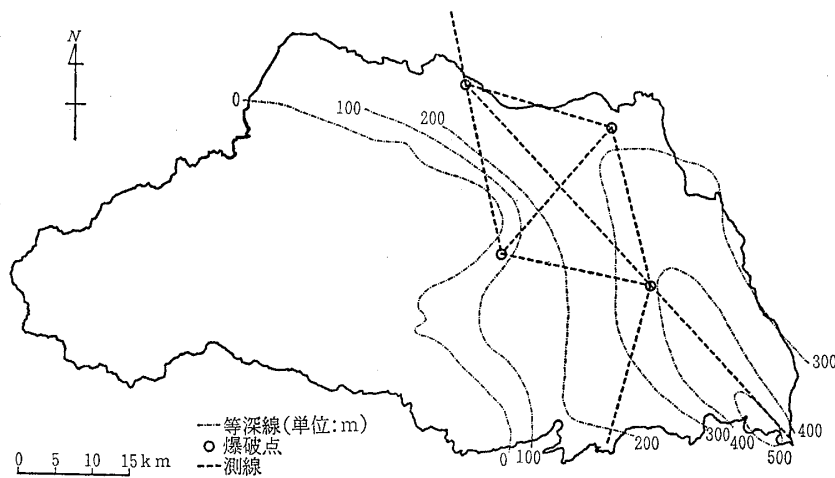


図-15 埼玉県における上総層群相当層上面の深度分布

Fig.15 Contour map of upper boundary of Kazusa group and its equivalent layers in Saitama prefecture

た。ただし、分散曲線において群速度が極小を与える周期が明瞭でない場合を考慮して、位相速度と群速度の差が極大を与える周期を含めて採用することにした。従来の研究・調査によって、地震時にはこれらの周期が卓越する可能性が確認されている。上記の方法によって周期特性を求める場合、地盤は水平成層構造であると仮定する。

4・2 深い地盤構造のモデル化

分散曲線を求めるための計算を行うにあたっては、地盤を構成している各地層の密度、S波速度、P波速度、減衰定数（あるいは、Q値）および各地層の層厚が必要である。人工地震探査によって求められた第1速度層は、表-8に示したように、P波速度が1.8km/s、S波速度が0.5km/sで、沖積層、洪積層に該当するとしている。一方、地表近くの地盤に関しては、詳細な調査がなされており（埼玉県，1990）、これらの資料に基づいて、人工地震探査によって求められた第1速度層に該当する部分を沖積層と洪積層に分け、S波速度については、前者を0.1~0.3km/sとし、後者を0.3~0.5km/sとした。一方、P波速度については、沖積層を1.5km/s、洪積層を1.8km/sとした。また、上総層群相当層、三浦層群相当層および先新第三紀の地層については、表-8に示した今回の探査によって求められたP波速度およびS波速度の値を用いた。

密度については、上記の埼玉県(1990)の資料に基づいて設定した。

Q値については、小林ほか(1985)によれば、

$$Q = \frac{V_s}{(10 \sim 20)}$$

と表されるとしている。ここでは、上式の平均的な値として

$$Q = \frac{V_s}{15}$$

によって、Q値を求めた。

以上のようにして、周期特性の計算に必要な各地層の物性値として、表-9に示すような値を設定した。

一方、周期特性を求める地点については、埼玉県全域に対して、南北方向には緯度2分30秒(約4.6km)間隔に、東西方向には経度3分45秒(約5.6km)間隔にグリッドを設定した。これらのグリッドの交点のうち、新第三紀以降の地層が地表に現れている埼玉県東部地域の低地部と台地部の一部の130の地点について、ラブ波およびレイリー波の分散曲線を計算した。なお、これらの計算地点における地盤構造は、図-13、図-14および図-15に示した等深度線図を利用し、水平成層構造として設定した。

4・3 やや長周期地震動の周期特性

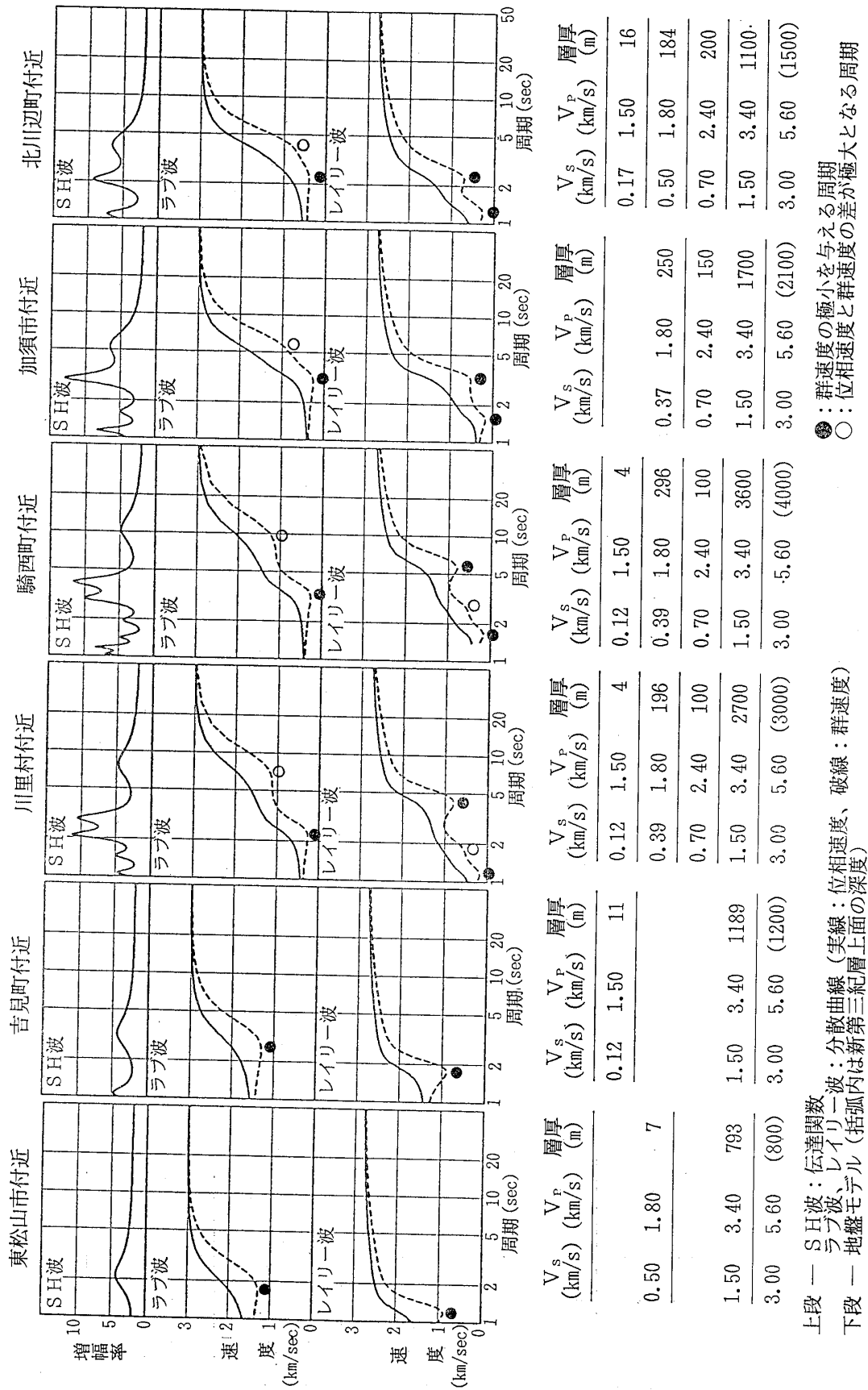
上述のようにして求めたラブ波およびレイリー波の分散曲線と地盤モデルの例を図-16に示す。なお、同図には、参考までにSH波の伝達関数を合わせて示してある。SH波の伝達関数については、ピークを示す周期をS波の特性を表す周期としてみる事ができる。

図-16は、埼玉県東部の深い地盤の谷を横断するように、東松山市付近から県の東北端にある北川辺町付近に向かった断面上の計算点における計算結果を示したものである。南西側の東松山市付近と吉見町付近の2つの例では、表層地盤は比較的薄く、全体的には硬質な地盤であり、分散曲線は単純な形を示し、しかも短周期側に寄っている。

ラブ波の分散曲線を見ると、東松山市付近から騎西町付近までの間は、先新第三紀の地層の上面(地震基盤)の深度がしだいに深くなり、特性を表す周期のうち、最

表-9 各地層の物性値
Table 9 Physical properties of layers

地層名	密度 (g/cm ³)	S波速度 (km/s)	P波速度 (km/s)	Q値
沖積層	1.7	0.1~0.3	1.5	7~23
洪積層	2.0	0.3~0.5	1.8	20~33
上総層群相当層	2.1	0.7	2.4	47
三浦層群相当層	2.2	1.5	3.4	100
先新第三紀の地層	2.4	3.0	5.6	200



図一16 埼玉県における地震波の特性曲線の例

Fig. 16 Examples of characteristics curves of seismic waves in Saitama prefecture

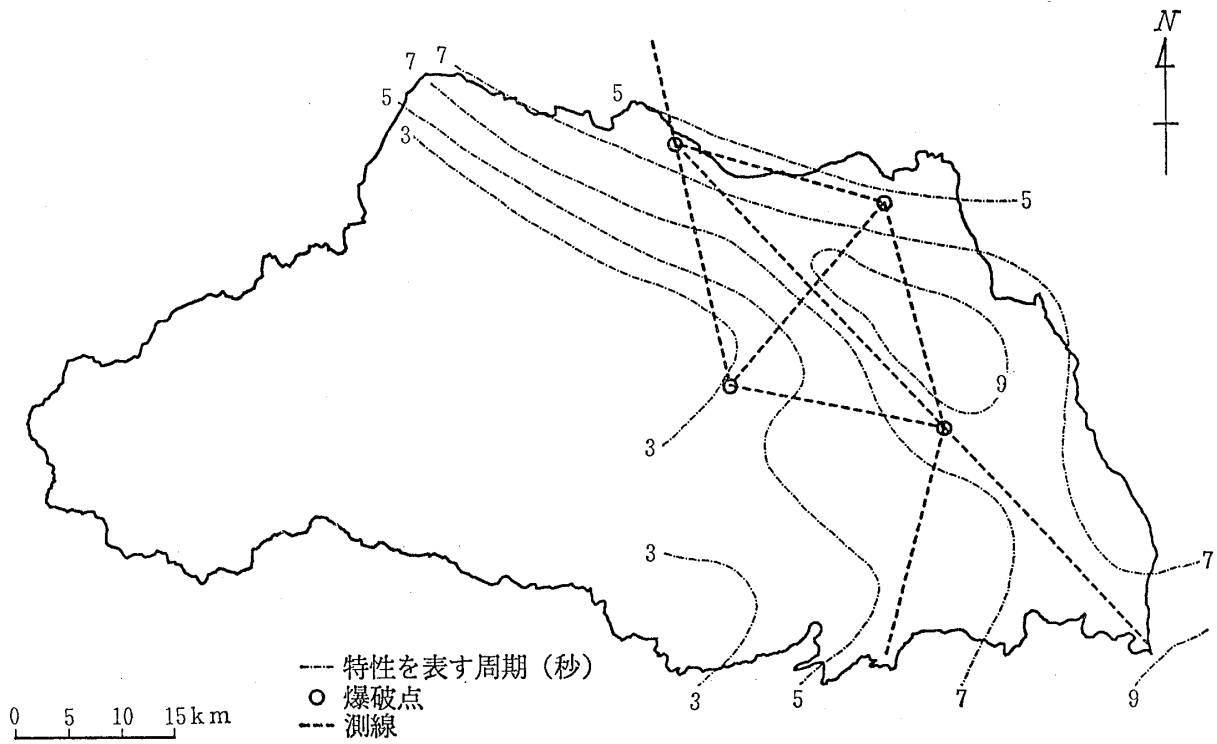


図-17 ラブ波の特性を表す周期の分布

Fig.17 Contour map of characteristics periods of Love wave in Saitama prefecture

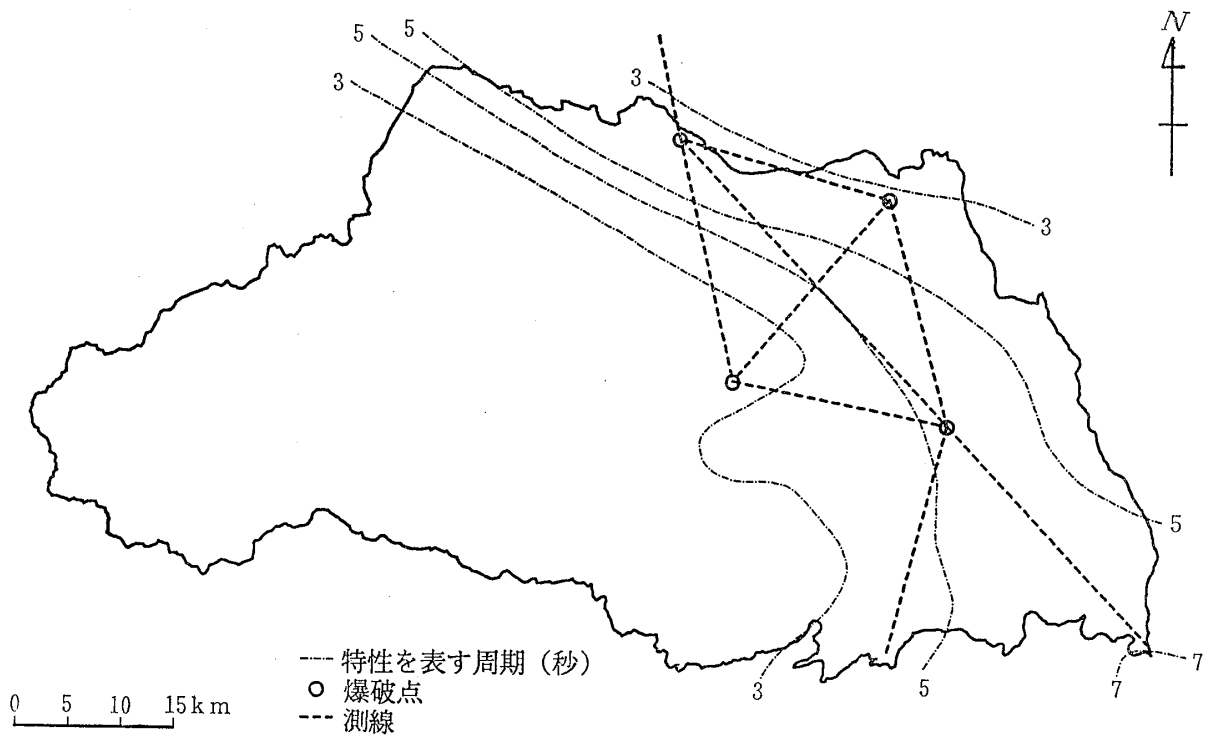


図-18 レイリー波の特性を表す周期の分布

Fig.18 Contour map of characteristics periods of Rayleigh wave in Saitama prefecture

も長い周期が2秒から10秒へと大きく変化している。これに対して、騎西町付近から北川辺町付近までの間は、地震基盤が浅くなるにしたがって小さくなり、5秒程度になっている。また、表層地盤が多層で複雑になると、群速度が極小となる周期は長周期側でやや不明瞭になり、これに代わって、位相速度と群速度の差が極大となる周期が最も長い周期として捕えられている。

一方、レイリー波の分散曲線においては、群速度が極小となる周期が、ラブ波の場合と同様に、地震基盤の深さに応じて変化しているが、ラブ波の場合に比べると、周期そのものは小さくなっている。すなわち、東松山市付近および吉見町付近においては1～2秒程度であるが、地震基盤が深くなるにしたがって大きくなり、騎西町付近では5秒を越え、地震基盤が浅くなる加須市付近や北川辺町付近においては2～3秒となっている。

また、S波については、最も長い周期側では、ラブ波に対応した周期特性を示している。なお、短周期側においては、表面の地盤状況に対応しており、表層の地層構成が複雑な場合には伝達関数も複雑な形状を呈している。

ラブ波およびレイリー波の分散曲線を計算した130点において、やや長周期地震動の特性を表す周期を抽出してコンター図を作成した。図-17はラブ波によるものであり、図-18はレイリー波によるものである。これらの図を作成するに当たっては、それぞれの波の基本的な特性を示す最も長い周期を採用した。なお、S波については、ラブ波の場合とほとんど同じである。

図-17に示すように、ラブ波の特性を表す周期の分布は、埼玉県東部の低地中央部において9～10秒と最も長くなっており、長周期を示す部分が西北西方向および南東方向に帯状に延びている。この西北西方向の長周期を示す帯状の部分は、図-13に示した先新第三系上面（地震基盤）の最深部の分布に対応している。この長周期を示す帯状部の両側では、周期は急激に短くなっており、図-13に示す地震基盤の深度分布と良い対応を示している。また、南東方向に延びている長周期部は県の南東端で9秒程度の値を示し、東側および西側に向かって緩やかに短くなっている。この地域においては、地震基盤はやや深い、表層部に当る上総層群相当層が厚く堆積しており、このことが、周期を長くすることに寄与しているものと考えられる。一方、山地部や丘陵部にかかる部分においては、地震基盤が浅くなり、3～4秒よりも短くなっている。

レイリー波の特性を表す周期の分布は、図-18に示すように、その傾向はおおむねラブ波の場合と類似しており、地震基盤の深度に対応した分布を示している。ラブ

波の場合に比べて周期は2秒程度短くなっている。すなわち、西北西方向に延びている帯状の長周期部において、ラブ波の場合に7秒である地域が5秒となっている。また、県南東部においては、ラブ波の場合には約9秒であるが、7秒程度となっている。

気象庁による地震観測記録によると、熊谷では5秒前後の周期の波がしばしば見られること、また、埼玉県南隣に位置する東京都では、7～8秒の周期の波が卓越することが多いことなど、今回の検討結果は、実際の観測結果と極めて調和的であることがわかる。

以上のことを要約すると、埼玉県の場合、やや長周期地震動による影響を検討するに当たって、西部の山地や丘陵部では、ラブ波およびレイリー波ともに、4秒程度までの周期を対象とすればよい。これに対して、低地部では、地震基盤までの深さならびに地震基盤から地表までの間の地盤の構成とそれらの層厚によっても特性を表す周期は異なるが、全体としてみると、ラブ波においては10秒程度までの周期を、また、レイリー波においては7秒程度までの周期のものを対象とすればよいといえることができる。

5 あとがき

この報文では、人工地震探査によって求められた深い地盤構造に基づいて、やや長周期地震動の特性について検討した。実際の地震動を検討するためには、このほかに、震源のメカニズムや三次元的な地盤構造などの要素を考慮しなければならない。しかしながら、ここに述べたように、埼玉県東部の低地部における深い地盤構造に基づくやや長周期地震動の基本的な周期特性が明らかになったことは、今後の埼玉県およびその周辺におけるやや長周期地震動に関する考察や長大構造物の耐震設計、さらには、地震防災対策を検討する上での基礎的資料とすることができるものと考えられる。

謝 辞

この報文の執筆にあたっては、埼玉県の関係各位から各種資料の使用についての御了解と、極めて有益な御助言を頂きました。ここに記して、関係各位に厚く感謝の意を表す次第であります。

参 考 文 献

物理探査学会(1989):“土と岩”の弾性波速度——測定

- と応用—— pp.76~80.
- 土木学会新潟地震災害調査委員会編(1966):昭和39年新潟地震震害調査報告 pp.867~903.
- 福田 理, 楡井 久, 鈴木宏芳(1988):関東地方の地下地質と地層流体 地質学論集 No.31, p.23.
- 長谷川功, 伊藤公介, 多田 堯, 笠原敬司, 宮下 芳(1981):関東平野北部の地下構造 昭和56年度地震学会秋季大会講演予稿集 No.2, p.29.
- 東 貞成(1986):理論地震記象を用いた夢の島人工地震実験の解析 昭和61年度地震学会秋季大会講演予稿集 No.2, p.258.
- 久田俊彦編著(1974):地震と建築 鹿島出版会 pp.45~55.
- Irikura, K. (1983): Semi-empirical estimation of strong ground motions during large earthquakes, Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Vol. 33, Part 2, No.298, pp.63~104.
- 地震月報(1951~1989):日本気象協会発行
- 神奈川県(1980):神奈川県地震被害想定調査報告書(地質地盤) pp.208~254.
- 活断層研究会編(1980):日本の活断層——分布図と資料 東京大学出版会 pp.146~148.
- 建設省国土地理院編(1980):首都及びその周辺の地震予知 地震予知連絡会報告 第2巻 pp.67~68.
- 建設省国土地理院編(1989):首都及びその周辺の地震予知(その2) 地震予知連絡会報告 第3巻 pp.133~136.
- 菊地隆男, 楡井 久, 楠田 隆(1988):上総, 下総兩層群の層序に関する2, 3の問題 地質学論集 No.30, p.54.
- 小林啓美, 瀬尾和大(1980):人工地震による東海地方の地下深部探査について 第17回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集 pp.609~612.
- 小林啓美, 嶋 悦三, 瀬尾和大, 翠川三郎(1985):首都圏南西部の地下構造に関する研究 川崎市の震災予防に関する調査報告書 pp.1~6.
- 小山 信, 瀬尾和大, 山中浩明(1986):熊谷地方気象台の地震記象に見られる顕著な後続位相について 第7回日本地震工学シンポジウム pp.361~366.
- 工藤一嘉(1978):長周期地震動——強震地動の表面波に関する検討——第6回地盤震動シンポジウム 日本建築学会 pp.9~16.
- Kudo, K. (1978): The contribution of Love waves to strong ground motions, Proc. 2nd Int. Conf. on Microzonation for Safer Construction —— Research and Application ——, Vol. 2, pp.765~776.
- 日本の地質「関東地方」編集委員会編(1986):日本の地質3 関東地方 共立出版(株) pp.76~78.
- 太田 裕, 後藤典俊, 塩野計司, 高橋 博, 山水史生, 栗原重利(1977):やや深い構造のS波速度——岩槻3500m地震観測井における測定—— 地震 第2輯 第30巻 pp.415~433.
- Okada, H., S. Suzuki, T. Moriya and S. Asano (1973): Crustal structure in the profile across the southern part of Hokkaido, Japan, as derived from explosion seismic observations. J. of Physics of the Earth, Vol. 21, pp.329~354.
- 応用地質(株), (株)平田建築構造研究所(1986):1985年9月19日メキシコ地震被害調査速報 pp.1~57.
- 埼玉県(1990):大規模地震被害想定調査報告書 pp.121~197.
- 瀬尾和大(1981):地下深部の地盤構造が地表の地震動に及ぼす影響 東京工業大学博士論文 pp.130~135.
- 瀬尾和大(1986):地下構造に基づく地震記象の解釈 第14回地盤震動シンポジウム 日本建築学会 pp.63~68.
- 首都圏基盤構造研究グループ(1989):夢の島人工地震実験資料集 pp.1~277.
- 嶋 悦三, 柳沢馬住, 工藤一嘉, 瀬尾和大, 山崎謙介(1976):東京の基盤構造——第三回夢の島, 吉川町爆破実験による地下深部探査——地震研究所報 第51巻 pp.45~61.
- 嶋 悦三(1979):地震活動度と震害分布 自然災害科学特別研究(1)研究成果報告書 pp.13~24.
- 東京都(1990):いつか東京にも? ロマ・プリータ地震 東京都調査団報告 pp.10~19.
- 土田 肇, 倉田栄一, 須藤克子(1969):十勝沖地震とその余震の港湾地域における強震記録 港湾技研資料 No.80, 運輸省港湾技術研究所 pp.205~266.
- 吉井敏尅(1979):日本の地殻構造 UP Earth Science, Vol.2. 東京大学出版会 pp.54~80.
- 吉岡 浩, 座間信作, 亀井浅道(1984):1983年日本海中部地震による石油タンクのスロッシングとその被害について 消防研究所技術資料 第14号 pp.31~47.

